

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# **ZAVRŠNI RAD**

**Eugen Kalanj-Matković**

Zagreb, 2017.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Krešimir Grilec

Student:

Eugen Kalanj-Matković

Zagreb, 2017.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se mentoru prof. dr. sc. Krešimiru Grilecu i asistentu Ivanu Primorcu, mag. ing. mech. na stručnoj pomoći i savjetima pri izradi ovog rada.

Eugen Kalanj-Matković



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **EUGEN KALANJ-MATKOVIĆ**

Mat. br.: 0035190590

Naslov rada na  
hrvatskom jeziku:

**TROŠENJE DIJELOVA PERILICE RUBLJA**

Naslov rada na  
engleskom jeziku:

**WEAR OF WASHING MACHINE PARTS**

Opis zadatka:

Kućanski uređaji mogu se promatrati kao jedan tribosustav koji se sastoji se od više dijelova. Složeniji sustavi sastoje se od velikog broja dijelova od različitih materijala. U svim tribosustavima postoje tzv. „slaba mjesta“, odnosno dijelovi koji se najbrže troše te ih je nakon toga potrebno zamijeniti.

U ovom radu je potrebno:

- 1) Navesti glavne dijelove perilice rublja.
- 2) Identificirati dijelove tribosustava koji se najviše troše.
- 3) Pronaći primjere potrošenih dijelova i analizirati njihovo trošenje.
- 4) Identificirati materijale od kojih su načinjeni pronađeni dijelovi.
- 5) Provesti prateća ispitivanja te dati zaključak.

Zadatak zadan:

30. studenog 2016.

Zadatak zadao:

*K. Grilec*

Prof.dr.sc. Krešimir Grilec

Rok predaje rada:

**1. rok:** 24. veljače 2017.

**2. rok (izvanredni):** 28. lipnja 2017.

**3. rok:** 22. rujna 2017.

Predviđeni datumi obrane:

**1. rok:** 27.2. - 03.03. 2017.

**2. rok (izvanredni):** 30. 06. 2017.

**3. rok:** 25.9. - 29. 09. 2017.

v.d. predsjednika Povjerenstva:

*Branko Bauer*

Izv. prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	III
POPIS TABLICA.....	V
POPIS OZNAKA I KRATICA .....	VI
SAŽETAK.....	VII
SUMMARY .....	VIII
1. UVOD.....	1
2. POVIJEST RAZVOJA PERILICE RUBLJA .....	2
3. TRIBOLOGIJA .....	5
3.1. Trenje materijala .....	6
3.1.1. Vrste trenja.....	6
3.2. Mehanizmi trošenja materijala.....	9
3.2.1. Adhezija .....	9
3.2.2. Abrazija.....	10
3.2.3. Eroziya .....	11
3.2.4. Tribokorozija.....	12
3.2.5. Kavitacija .....	12
4. OPĆENITO O PERILICI RUBLJA .....	13
4.1. Osnovne podjele perilice rublja .....	13
5. KONSTRUKCIJSKI DIJELOVI PERILICE RUBLJA .....	15
5.1. Tehnički podaci o aparatu .....	16
5.2. CAD model perilice rublja.....	18
5.3. Proces izrade perilice rublja.....	22
5.3.1. Proizvodnja osnovnog materijala.....	22
5.3.2. Sastavljanje podsklopova.....	23
5.3.3. Sastavljanje sklopova.....	24
6. TROŠENJE KOMPONENATA PERILICE RUBLJA .....	25
6.1. Općenito o trošenju perilice rublja.....	25
6.1.1. Brtve.....	26
6.1.1.1. Brtva vrata.....	27
6.1.2. Brava vrata .....	28
6.1.3. Remen .....	29
6.1.4. Četkice motora .....	30
6.1.5. Amortizeri bubnja .....	31
6.1.6. Vodena pumpa .....	32
6.1.7. Grijač vode.....	33
6.1.8. Ležaj bubnja.....	34

7. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE UZORAKA.....	37
7.1. Potrošeni dijelovi perilice rublja .....	38
7.1.1. Grijač vode.....	38
7.1.2. Vodena pumpa .....	39
7.1.3. Brava vrata .....	42
7.1.4. Ležaj bubnja.....	43
7.2. Mjerenje tvrdoće po Vickersu.....	45
7.2.1. Princip .....	46
7.2.2. Mjerenje tvrdoće uzoraka.....	47
7.3. Analiza mikrostrukture .....	49
7.4. Analiza kemijskog sastava .....	54
7.4.1. SEM (Skenirajući Elektronski Mikroskop) .....	55
7.4.2. Postupak analize kemijskog sastava .....	57
8. ZAKLJUČAK.....	61
LITERATURA.....	62
PRILOZI.....	64

## POPIS SLIKA

Slika 2.1.	Ploča za pranje rublja [1].....	2
Slika 2.2.	Prva perilica rublja, ručni pogon, 1851.godina [1] .....	3
Slika 2.3.	Prva perilica-sušilica rublja [1] .....	3
Slika 2.4.	„Thor“ perilica rublja [1].....	4
Slika 3.1.	Shema tribosustava [4] .....	5
Slika 3.2.	Sila trenja [5] .....	6
Slika 3.3.	Ovisnosti sile trenja o vučnoj sili [5].....	7
Slika 3.4.	Trenje niz kosinu [5] .....	8
Slika 3.5.	Adhezijsko trošenje [7] .....	9
Slika 3.6.	Abrazijsko trošenje [7] .....	10
Slika 3.7.	Abrazija između dva tijela [7] .....	10
Slika 3.8.	Abrazija između tri tijela [7] .....	10
Slika 3.9.	Erozijsko trošenje [4] .....	11
Slika 4.1.	Perilica rublja s prednjim punjenjem [8] .....	13
Slika 4.2.	Perilica rublja s gornjim punjenjem [9].....	14
Slika 5.1.	Perilica rublja FSCR 90425 [10] .....	15
Slika 5.2.	CAD model FSCR 90425, prvi dio [11].....	18
Slika 5.3.	CAD model FSCR 90424, drugi dio [11].....	19
Slika 6.1.	Nova brtva vrata [15] .....	27
Slika 6.2.	Oštećena brtva vrata [16] .....	28
Slika 6.3.	Nova brava vrata [15].....	28
Slika 6.4.	Remen [15] .....	29
Slika 6.5.	Četkice motora [15].....	30
Slika 6.6.	Amortizeri bubnja [15].....	31
Slika 6.7.	Vodena pumpa [15] .....	32
Slika 6.8.	Grijač vode [15].....	33
Slika 6.9.	Ležaj bubnja [18].....	34
Slika 6.10.	Kada bubnja s ležajevima [19] .....	35
Slika 6.11.	Razni ležajevi [20].....	36
Slika 7.1.	Grijači vode .....	38
Slika 7.2.	Prednji dio vodene pumpe „Bleckmann“ .....	39
Slika 7.3.	Stražnji dio vodene pumpe „Bleckmann“ .....	40
Slika 7.4.	Bočni dio vodene pumpe „Bleckmann“ .....	40
Slika 7.5.	Prikaz oštećenja lopatica .....	41
Slika 7.6.	Bočni prikaz oštećenja lopatica .....	41
Slika 7.7.	Brava vrata perilice rublja .....	42
Slika 7.8.	Razni potrošeni ležajevi bubnja .....	43
Slika 7.9.	Ležaj bubnja .....	44
Slika 7.10.	Rastavljen ležaj.....	44
Slika 7.11.	Skica penetratora i otiska kod Vickersove metode [21].....	45
Slika 7.12.	Uzorci zaliveni u polimernu masu.....	47
Slika 7.13.	Svjetlosni mikroskop GX51 .....	49
Slika 7.14.	Unutarnji prsten povećanje 100x.....	50
Slika 7.15.	Unutarnji prsten povećanje 200x.....	50

Slika 7.16. Unutarnji prsten povećanje 500x.....	51
Slika 7.17. Unutarnji prsten povećanje 1000x.....	51
Slika 7.18. Vanjski prsten povećanje 100x.....	52
Slika 7.19. Vanjski prsten povećanje 200x.....	52
Slika 7.20. Vanjski prsten povećanje 500x.....	53
Slika 7.21. Vanjski prsten povećanje 1000x.....	53
Slika 7.22. TESCAN VEGA 5136MW (SEM) .....	57
Slika 7.23. Uzorci na postoljima .....	57
Slika 7.24. EDS analiza unutrašnjeg prstena .....	58
Slika 7.25. Spektar kemijskih elemenata, unutrašnji prsten .....	59
Slika 7.26. EDS analiza vanjskog prstena .....	59
Slika 7.27. Spektar kemijskih elemenata, vanjski prsten .....	60



## **POPIS TABLICA**

Tablica 1. Faktori trenja mirovanja, klizanja i kotrljanja [5] .....	8
Tablica 2. Tvrdća unutarnjeg prstena .....	48
Tablica 3. Tvrdća vanjskog prstena.....	48
Tablica 4. Maseni i atomski udio elemenata na površini unutrašnjeg prstena .....	58
Tablica 5. Maseni i atomski udio elemenata na površini vanjskog prstena .....	60

## POPIS OZNAKA

Oznaka	Jedinica	Opis
$d$	mm	srednja vrijednost dijagonala baze piramide
$d_1$	mm	prva dijagonala kvadrata otiska piramide
$d_2$	mm	druga dijagonala kvadrata otiska piramide
$F$	N	sila
$F_{gr}$	N	granična sila
$F_n$	N	normalna sila
$F_{tr}$	N	sila trenja
$F_{tr,gr}$	N	granična sila trenja
$G$	N	težina tijela
$h$	mm	dubina otiska piramide
HV	HV	tvrdća po Vickers-u
$S$	$mm^2$	površina šuplje piramide otisnute u materijalu
$\mu$	-	faktor trenja
$\mu_s$	-	statički faktor trenja
$\mu_k$	-	kinetički faktor trenja
$\alpha$	°	kut kosine
$\alpha_k$	°	kut trenja

## POPIS KRATICA

BSE	engl. back scatter electron
EDS	engl. energy dispersive spectrometer
HRK	hrvatska kuna
Poz..	pozicija
SE	engl. secondary electron
SEM	skenirajući elektronski mikroskop

## **SAŽETAK**

Trošenje je prisutno kod svih strojeva i uređaja. Ne postoji uređaj ili stroj kojem su neki dijelovi u potpunosti otporni na neki od mehanizama trošenja. U realnim radnim uvjetima to se svodi na smanjivanje trošenja na što manju veličinu. Danas su razvijene razne metode povećanja površinske otpornosti na razne mehanizme trošenja.

Jedan od najpoznatijih i neizostavnih uređaja u današnjim kućanstvima je perilica rublja.

Perilica rublja se sastoji od velikog broja dijelova koji moraju biti izuzetno usklađeni kako bi uređaj imao dugotrajan radni vijek.

U teorijskom dijelu biti će opisana povijest razvoja perilice rublja, tribologija, konstrukcijski elementi koji prevladaju tijekom njenog radnog vijeka te materijali koji se upotrebljavaju prilikom izrade istih.

U eksperimentalnom dijelu biti će ispitani ključni dijelovi potrebni za normalan rad perilice rublja. Provesti će se karakterizacija materijala, ispitati otpornost na dominantne mehanizme trošenja u radnoj okolini i mikrostruktura.

Ključne riječi: Trošenje dijelova, perilica rublja, motor, ležaj

## **SUMMARY**

Wear is present at all machines and equipment. There isn't any device or machine to which some parts are completely resistant to some of the mechanisms of wear. In real operating conditions that are tantamount to reducing wearing to the smallest size. Today are developed many methods to increase surface resistance to various mechanisms of wear.

One of the most indispensable devices in modern households is washing machine. Washing machine consists of a large number of parts that have to be extremely consistent so that the device would have a longer service life.

In theoretical part it will be described the history of the development of the washing machine, tribology, structural elements that prevail during its working lifetime and materials which are used while creating them.

In the experimental part will be tested key components necessary for the normal operation of the washing machine. It is going to show through characterization of materials, test of resistance to the dominant mechanisms of wear in the working environment and microstructure.

Keywords: Wear of parts, washing machine, engine, bearing

## **1. UVOD**

Razvojem civilizacije i tehnološkog napretka sve je više dolazilo do potrebe za smanjivanjem utrošene radne energije i vremena obavljanjem kućanskih poslova. Samim time javlja se potreba za razvojem uređaja koji će veći dio tih poslova autonomno obavljati, kućanskih uređaja. U prošlosti jedan od najtežih kućanskih poslova bio je pranje rublja. Zbog toga razloga se razvojem tehnike i osmišljavao uređaj za obavljanje takvog posla, perilica rublja.

Prisutna u većini kućanstava neizostavan je uređaj naše svakodnevnice. Njen razvoj protezao se desetljećima i još uvijek traje. Uvođenjem u kućanstva uvelike olakšava posao u kućanstvima.

S godinama razvoja dolazi do upotrebe novijih i otpornijih materijala u proizvodnji, kao i poboljšanja u tehničkim aspektima. Povećava se kapacitet pranja, snaga motora, vijek trajanja, a smanjuje potrošnja električne energije i buka.

## 2. POVIJEST RAZVOJA PERILICE RUBLJA

U drevnoj antici ljudi su za pranje rublja koristili kamenje, vodu i pijesak. Odjeću bi trljali o kamenje na obližnjim potocima, te uz pomoć abrazivnog pijeska uklanjali mrlje sa rublja. Postoje prvi pokazatelji antičkog sapuna u dolinama Sapo planine pored Rima. Sapun su radili od pepela mrtvih životinja.

Ploča za pranje je bila prvi uređaj napravljen od strane čovjeka u svrhu pranja rublja. Prvi primjerci se pojavljuju davne 1797.godine.



**Slika 2.1. Ploča za pranje rublja [1]**

Koncept upotrebe rotacijskog bubnja kao alata za pranje rublja je izumljen 1782.godine od strane anonimnog engleskog inovatora.

Prvu perilicu rublja izumio je James Watt 1851.godine. Perilica se pokretala ručno, okretanjem ručice.



**Slika 2.2. Prva perilica rublja, ručni pogon, 1851.godina [1]**

Rotacijska perilica sa cjeđivačem vode je bio idući korak u razvoju. Mehanički je uklanjala vodu iz rublja nakon pranja. Taj mehanizam je rezultirao lomovima prstiju i zglobova ukoliko bi oni bili uhvaćeni tijekom rada stroja. Ovo je prva verzija buduće perilice-sušilice rublja, koja je kombinirala pranje rublja i ocjeđivanje vode.



**Slika 2.3. Prva perilica-sušilica rublja [1]**

Otkrićem električne energije dolazi do potrebe zamjene ručnog pogona električnim.

Alva J. Fisher razvija prvu električnu perilicu rublja 1908.godine imena “Thor“.

“Thor“ je bila perilica rublja s pocinčanom kadom i električnim motorom.



**Slika 2.4. “Thor“ perilica rublja [1]**

Bendix 1937.godine proizvodi prvu potpuno automatsku perilicu rublja kakvu je i danas poznajemo. Sastojala se od većine dijelova koje ima moderna perilica rublja poput grijača, vodene pumpe, električnog motora, sustava za automatsku regulaciju - programatora.

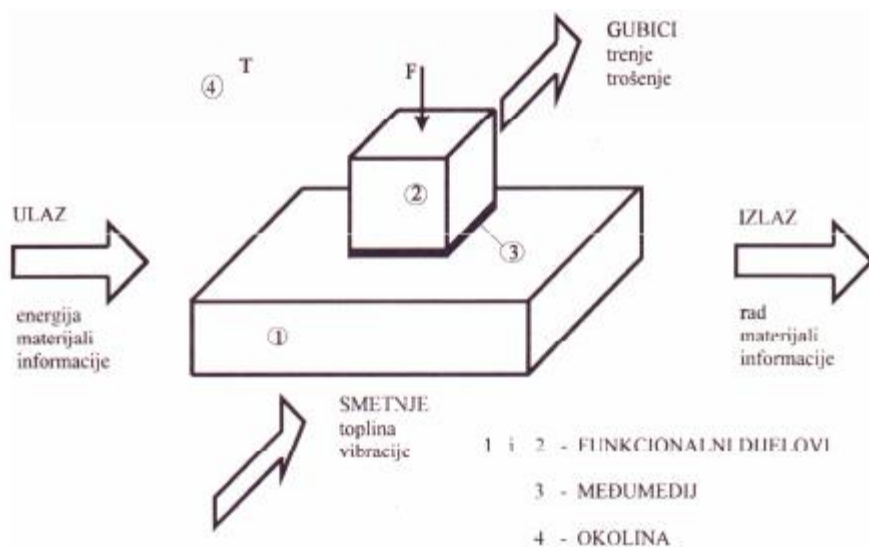
U početku je brzina okretanja bubnja iznosila 500okr/min, dok se današnji modeli vrte brzinama većim i od 1800okr/min. Zbog povećanih vibracija i neadekvatno raspoređene snage prvi modeli su trebali biti mehanički pričvršćeni za tlo kako bi se spriječilo njihovo pomicanje u radu. [1]



### 3. TRIBOLOGIJA

Naziv **tribologija** potječe od grčke riječi "τριβος" što znači **trenje, trošenje** i slično. [2]

**Tribologija** (grč. *τριβειν*: trljati + -logija), znanstv. disciplina koja proučava zbivanja na površinama dvaju tijela u dodiru ili relativnom gibanju (triboelementi), ponajprije trenje, trošenje materijala i učinke podmazivanja. [3]



Slika 3.1. Shema tribosustava [4]

Glavna područja primjene tribologije:

- Mehaničke konstrukcije (zupčanci, ležaji, klizni elementi)
- Materijali (novi materijali, keramika, polimeri, metali, inženjerstvo površina)
- Podmazivanje (ulja, masti, aditivi)
- Obrada materijala (sredstva za hlađenje, alatni materijali, lakoobrađivi materijali)

Potrebno je smanjenje trenja i trošenja zbog:

- Povećanja efikasnosti radnih sustava
- Smanjenja troškova održavanja
- Produžetka vijeka trajanja radnih sustava
- Povećanja sigurnosti
- Pобољшanja pouzdanosti [5]

### 3.1. Trenje materijala

Prema definiciji trenje je sila ili otpor koja se suprostavlja relativnom kretanju krutih tijela u dodiru. Djeluje paralelno s dodirnim površinama, a smjer joj je suprotan smjeru relativnog gibanja. [6] Otpor se javlja zbog međusobnog površinskog kontakta koji stvara površinske napetosti. Zbog nepoželjnog trenja dolazi do porasta površinske temperature, smanjenja mehaničkih svojstava, porasta cijene održavanja zbog potrebnog hlađenja i smanjenja efikasnosti rada uređaja.

#### 3.1.1 Vrste trenja

Prema agregatnom stanju tijela:

1. Trenje među krutim površinama
2. Trenje između krutog i tekućeg (čvrsto tijelo i fluid)

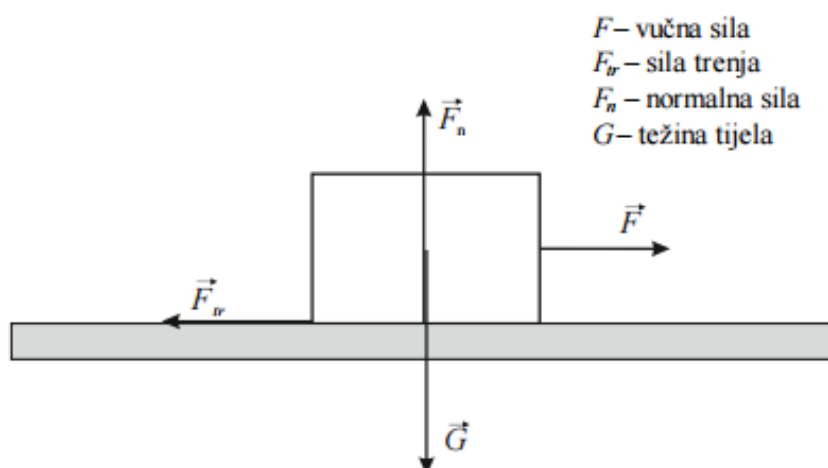
Prema vrsti podmazivanja:

1. Suho trenje
2. Trenje uz podmazivanje

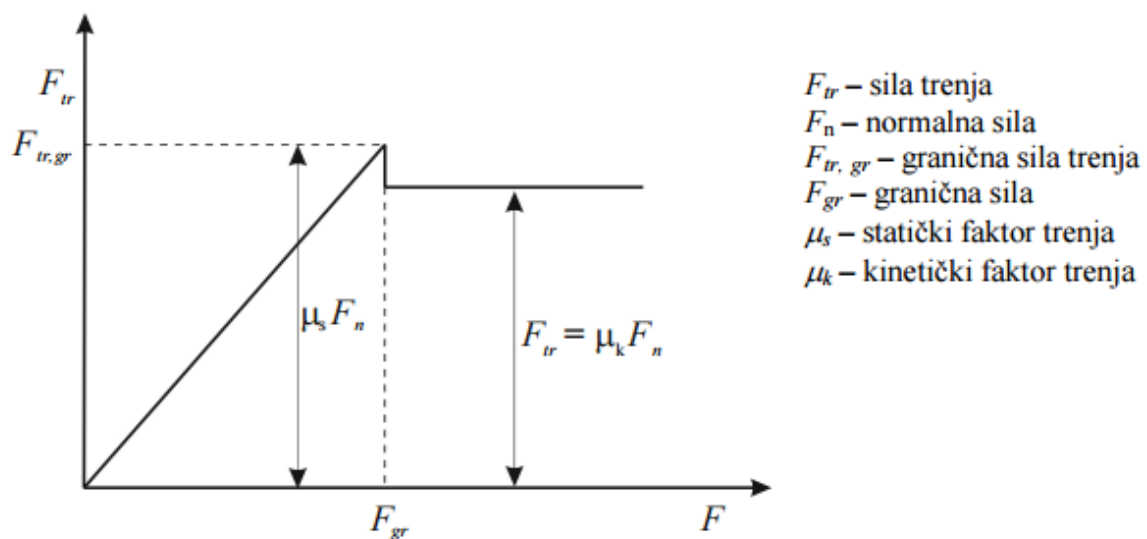
Prema načinu pokretanja tijela:

1. Trenje mirovanja (statičko trenje)
2. Trenje kretanja (dinamičko trenje)

U praksi je gotovo uvijek veličina dinamičkog trenja veća od statičkog trenja.



Slika 3.2. Sila trenja [5]



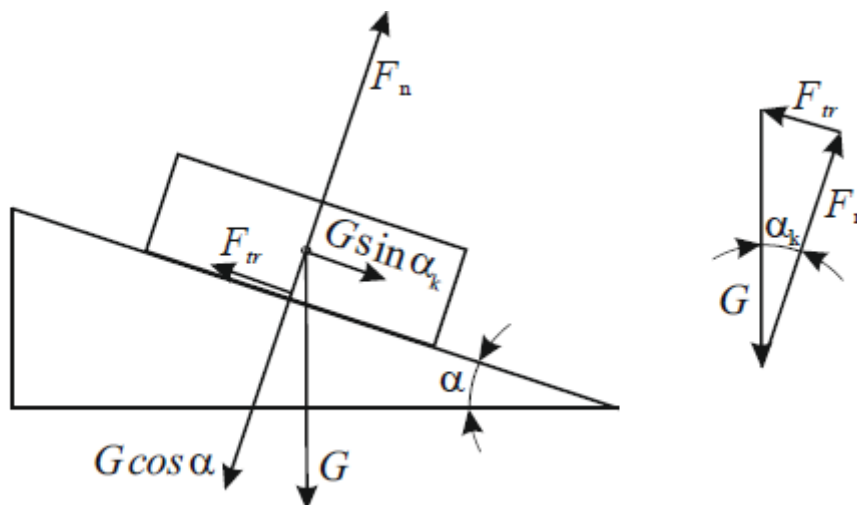
Slika 3.3. Ovisnost sile trenja o vučnoj sili [5]

Trenje pokretanja je redovito manje od trenja mirovanja, kao što je vidljivo sa slike 3.2. Faktor proporcionalnosti koji povezuje silu trenja i normalnu silu zove se faktor trenja. Često se koristi i naziv koeficijent trenja, a ponekad i pogrešno samo trenje jer izraz trenje podrazumjeva silu.

Faktor trenja je dakle bezdimenzijski omjer sile trenja između dva tijela i normalne sile kojom tijela pritišću jedno o drugo:

$$\mu = \frac{F_{tr}}{F_N} \quad (1)$$

Prilikom klizanja tijela niz kosinu može se vidjeti veza između faktora proporcionalnosti koji povezuje silu trenja i normalnu silu te kuta kosine, slika 3.4.



Slika 3.4 Trenje niz kosinu [5]

Iz slike 3.4 slijedi:

$$F_{tr} = \mu F_N \rightarrow \mu = \frac{F_{tr}}{F_N} = \frac{G \sin \alpha}{G \cos \alpha} = \tan \alpha \quad (2)$$

Tablica 1. prikazuje različite faktore trenja za neke slučajeve trenja u kontaktu.

Tablica 1. Faktori trenja mirovanja, klizanja i kotrljanja [5]

Dodirne površine	Faktor trenja mirovanja	Faktor trenja klizanja	Faktor trenja kotrljanja
Drvo na drvu	0,5	0,3	0,05
Čelik na čeliku	0,7	0,5	0,003
Guma na suhom asfaltu	0,8	0,6	0,01
Guma na mokrom asfaltu	0,3	0,2	0,05
Guma na ledu	0,02	0,01	-
Čelik na ledu	0,03	0,01	-

Često se pogrešno misli da se vrijednost faktora trenja kreće između 0 i 1, međutim npr. za površine čistih metala u vakuumu ta vrijednost može biti i veća od 5. [5]

### 3.2. Mehanizmi trošenja materijala

U ovom poglavlju opisani su glavni mehanizmi trošenja materijala. Svi ti mehanizmi, kao i njihove kombinacije su pristutni u određenim komponentama perilice rublja. Prvo je navedena njihova podjela, a u idućem poglavlju točan njihov utjecaj na određene dijelove. Trošenje je prisutno u gotovo svim uređajima koji nas okružuju. Danas postoji puno različitih načina trošenja materijala, ali gotovo svi se mogu svrstati unutar ovih mehanizama:

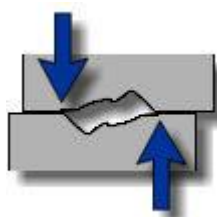
- Abrazija
- Adhezija
- Umor površine
- Tribokorozija

Svaki od ovih mehanizama ima svoje specifične tragove trošenja po kojima ga prepoznamo. Također, otpornost materijala za svaki od navedih mehanizama trošenja zahtjeva različita mehanička svojstva. Osim tih osnovnih mehanizama prisutne su i neke vrste trošenja:

- Erozija
- Kavitacija

#### 3.2.1. ADHEZIJA

Adhezijsko trošenje nastaje kao posljedica djelovanja međumolekularnih sila u točkama dodira tijela, a manifestira se kroz „preraspodjelu“ materijala s jedne na suprotnu površinu.

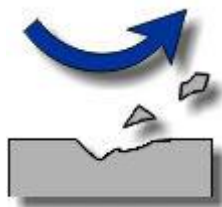


Slika 3.5. Adhezijsko trošenje [7]

To često dovodi do puknuća i hladnog zavarivanja radnih dijelova. Adhezijsko trošenje se reducira korištenjem različitih materijala i tvrdih površina otpornih na ovu vrstu trošenja.

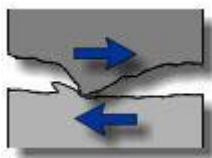
### 3.2.2. Abrazija

To je najučestalije trošenje u industriji. Nastaje kao posljedica prodiranja vrhova tvrdog materijala u površinske slojeve mekšeg uz brazdanje pri uzajamnom gibanju tijela.



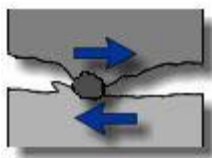
Slika 3.6. Abrazijsko trošenje [7]

Abrazivno sredstvo može biti proizvod tipa: ugljen, cement, kamen, staklo, keramika i sl. Trošenje se stoga javlja prilikom kopanja rudače, drobljenja, izvlačenja i otpremanja. Strojni dijelovi su tada izloženi visokim naprežanjima i tzv. abraziji između dva tijela (engl. Two-Body Abrasion). Borba protiv ove vrste trošenja zahtjeva vrlo tvrde, guste i otporne materijale za površinsku zaštitu.



Slika 3.7. Abrazija između dva tijela [7]

Abrazija između tri tijela (engl. Three-Body Abrasion) javlja se kod uređaja kao što su pumpe ili ventili kada se abrazivno sredstvo zaglavi između površina u trenju (npr. ležajevi). I ovdje se zbog visokih naprežanja moraju koristiti čvrsti i otporni materijali.



Slika 3.8. Abrazija između tri tijela [7]

Osnovna razlika između ove dvije vrste abrazijskog trošenja je u tome što abrazija između dva tijela nastaje isključivo zbog tvrdih izbočina na površinama u dodiru, dok se kod abrazije između tri tijela radi o dvije površine između kojih se tvrde abrazivne čestice slobodno kreću i uzrokuju oštećenja.

Neki od načina smanjenja abrazijskog trošenja su:

- Izbor parova materijala otpornih na abrazijsko trošenje
- Odgovarajuća obrada površinskih slojeva
- Razdvajanje površina slojem fluida - maziva.

### 3.2.3. *Erozija*

Ova vrsta trošenja nastaje uslijed djelovanja djelića fluida (sa ili bez krutih čestica nošenih fluidom) koji velikim brzinama udaraju o površinu tijela.



Slika 3.9. Erozijsko trošenje [7]

Jačina erozije najvećim dijelom ovisi o brzini i kutu udara čestica, te njihovoj tvrdoći.

Postoje dva osnovna oblika erozije:

- Erozija tupoga kuta: gdje se većina energije troši na deformaciju površine. Zaštita od ove vrste trošenja zahtijeva elastični zaštitni sloj, najčešće elastomer.
- Erozija oštrog kuta: proces koji je sličniji abraziji i rezanju. Kako bi se smanjila stopa trošenja, potrebna je velika tvrdoća same površine.

Neki od načina smanjenja erozijskog trošenja su:

- Eliminacija krutih čestica iz fluida
- Promjena kuta udara fluida o površinu
- Smanjenje relativne brzine fluida
- Izbor pogodnog materijala
- Dodatne izmjene površine materijala u cilju poboljšanja njegovih karakteristika.

### **3.2.4. Tribokorozija**

Javlja se u slučajevima kada se pojavi adhezijsko ili abrazijsko trošenje u kombinaciji s korozivnim okruženjem. Volumen gubitka materijala može biti veoma visok. Uzrok tomu leži u činjenici da se premazi za zaštitu od korozije lako odstranjuju trošenjem, ostavljajući tako nezaštićen metal koji brzo korodira.

Stabilni sloj oksida koji bi spriječio napredovanje korozije se gubi uslijed adhezijskog/abrazijskog trošenja.

Sama korozija je elektrolitički proces koji uključuje izmjenu elektrona i iona. Može se pojaviti između različitih metala ili između različitih dijelova istog metala ili slitine gdje postoji razlika elektrokemijskog potencijala.

Razlika nastaje i zbog prisustva oksida, različitih nečistoća, faza slitine. Za koroziju je potreban i provodljivi elektrolit (vlaga, slana voda, i sl.) za uspostavljanje električnog kruga.

### **3.2.5. Kavitacija**

Kavitacijsko trošenje je u stvari podvrsta erozijskog trošenja. Javlja se kada se tlak u tekućini snizi na vrijednost tlaka isparavanja te dolazi do pojave mjehurića pare. Oni bivaju nošeni u područje višeg tlaka gdje implodiraju (vraćaju se u kapljevitu fazu). Ako se implozija mjehurića pare događa u blizini čvrste stijenke, dolazi do njenog oštećenja. Sama pojava popraćena je vibracijama i bukom. [7]



## 4. OPĆENITO O PERILICI RUBLJA

Perilica rublja je kućanski uređaj koji služi za automatsko pranje odjeće korištenjem mehaničke energije pretvorene iz električne energije kućanske mreže. U osnovi postoje profesionalne perilice rublja i one namjenjene za osobnu upotrebu. U ovom radu, razmatrane su samo perilice namjenjene za osobnu upotrebu. Nadalje, uobičajena je kombinacija perilice zajedno sa sušilicom rublja, čiji je naziv perilica-sušilica ali već u samoj osnovi toga uređaja postoje poprilične razlike u odnosu na samu perilicu rublja i također taj uređaj nećemo spominjati u ovom radu.

Postoje velike razlike kod perilica rublja koje su namjenjene europskom i američkom tržištu. Promjenjen je koncept rada kod verzije perilice s gornjim punjenjem, te one namjenjene američkom tržištu imaju poneke dodatne dijelove u odnosu na europske. U ovom radu biti će obrađene samo perilice rublja namjenjene europskom tržištu.

### 4.1. Osnovne podjele perilice rublja

Perilice rublja dijelimo na mnogo različitih kategorija, ovisno o mogućnostima njihove primjene u radu. One ovise o zahtjevima tržišta, odnosno samih kupaca te se sve te podjele povećavaju sa razvojem industrije i tehnologije proizvodnje.

- Prema načinu punjenja bubnja
  1. Prednje punjenje (engl. Front load)



**Slika 4.1. Perilica rublja s prednjim punjenjem [8]**

## 2. Gornje punjenje (engl. Top load)



**Slika 4.2. Perilica rublja s gornjim punjenjem [9]**

- Kapacitet bubnja

Osnovna podjela koja ovisi o kapacitetu kućanstva u kojem će se primjenjivati.

Kapacitet se izražava u kilogramima suhog rublja: 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 kg.

- Brzina okretanja bubnja pri centrifugi

Od  $500\text{min}^{-1}$  do  $1600\text{min}^{-1}$

## 5. KONSTRUKCIJSKI DIJELOVI PERILICE RUBLJA

U daljnjem poglavlju biti će opisani dijelovi potrebite važnosti za normalan rad perilice rublja. Za uzorak biti će odabran model FSCR 90425 marke Whirlpool.

Kako je pri izradi samog aparata potrebno analizirati određene zahtjeve određenih dijelova, tako će biti i u ovom slučaju.

U nastavku je prikazano kako određeni mehanizmi trošenja utječu na vitalan dio samog uređaja, vrste materijala koje su upotrebljene za samu izradu kao i usporedba određenih vrsta koji se koriste za neki dio perilice rublja.



**Slika 5.1. Perilica rublja FSCR 90425 [10]**

## 5.1. Tehnički podaci o aparatu

### Dimenzije + Masa

Dimenzije uređaja

Visina..... 85,0 cm

Širina.....59,5 cm

Dubina.....64,0 cm

Masa

Neto.....85 kg

### Podaci o elektronskom sustavu

Voltaža.....220-230 V

Frekvencija.....50 Hz

Jakost struje.....10 A

Potrošnja električne energije.....~1.8 kW

### Bubanj

Volumen.....58 l

Brzina okretanja pri pranju.....54 rpm

Maksimalna brzina rotacije.....1400 rpm

### Brava na vratima

Vrsta.....Solenoid

Nominalna voltaža.....220 - 230 (90 - 264) V

Vrijeme zaključavanja.....~20 ms

Vrijeme otključavanja.....~20 ms

**Usisni ventil**

Nominalna voltaža.....	220 – 240 V
Frekvencija.....	50 Hz
Protok vode.....(1.5 – 5.5 bar).....	5.5 l/min
Područje tlaka rada.....	0.3 – 10 bar
Nominalni otpor.....(20 °C).....	3,8kΩ

**Vodena pumpa**

Nominalna voltaža.....	220 – 240 V / 50 Hz
Ukupna snaga.....	30 W
Otpornik.....	160 Ω
Kapacitet.....(0.55 – 1 m).....	14 ± 2 l/min

**Grijač**

Nominalna voltaža.....	220 – 230 V
Ukupna snaga.....	1850 W
Otpor (pri 20°C) .....	28,8 Ω

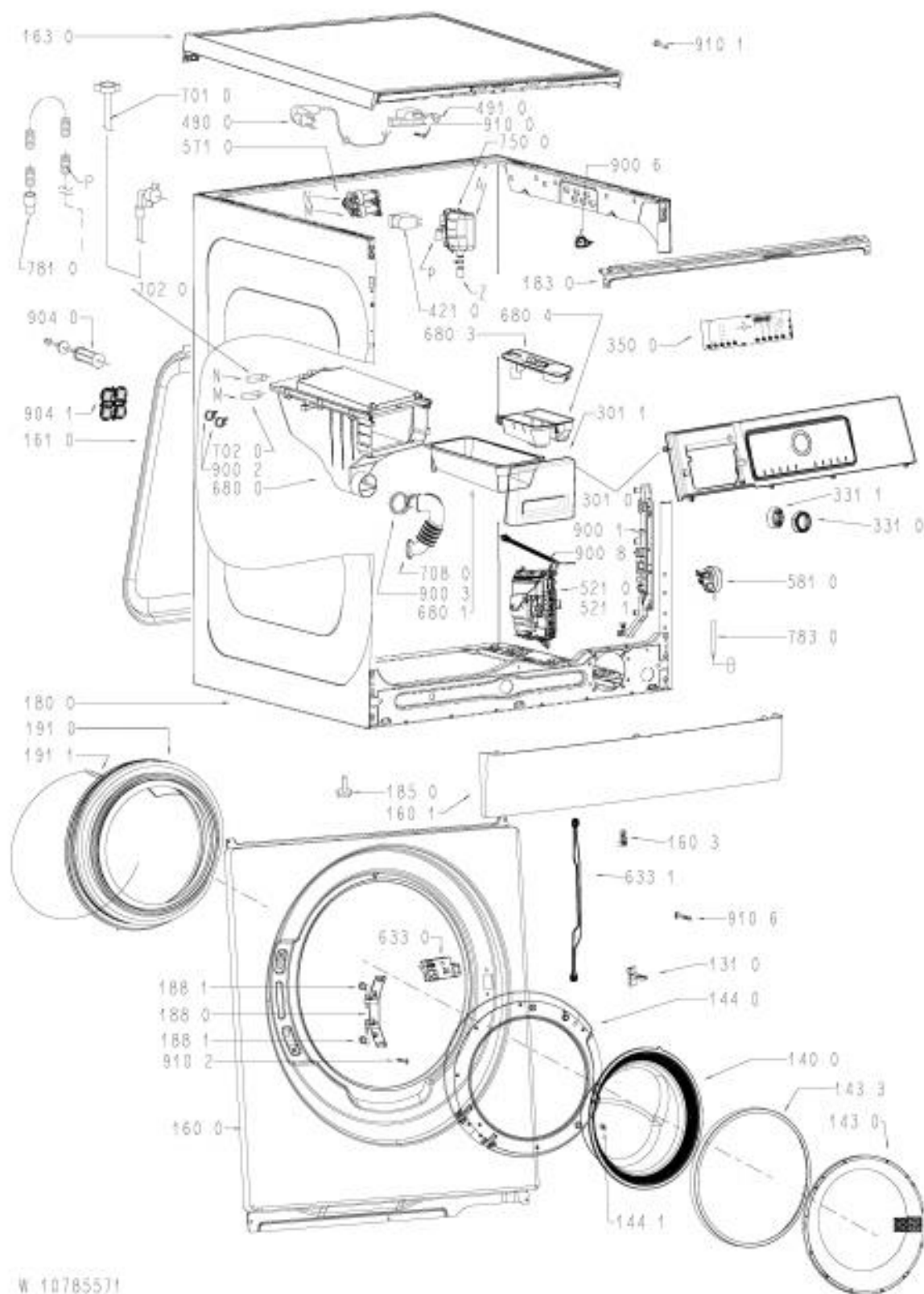
**Motor**

Vrsta.....	DD – TM2
Stator.....	9,4 Ω ± 0,46 Ω

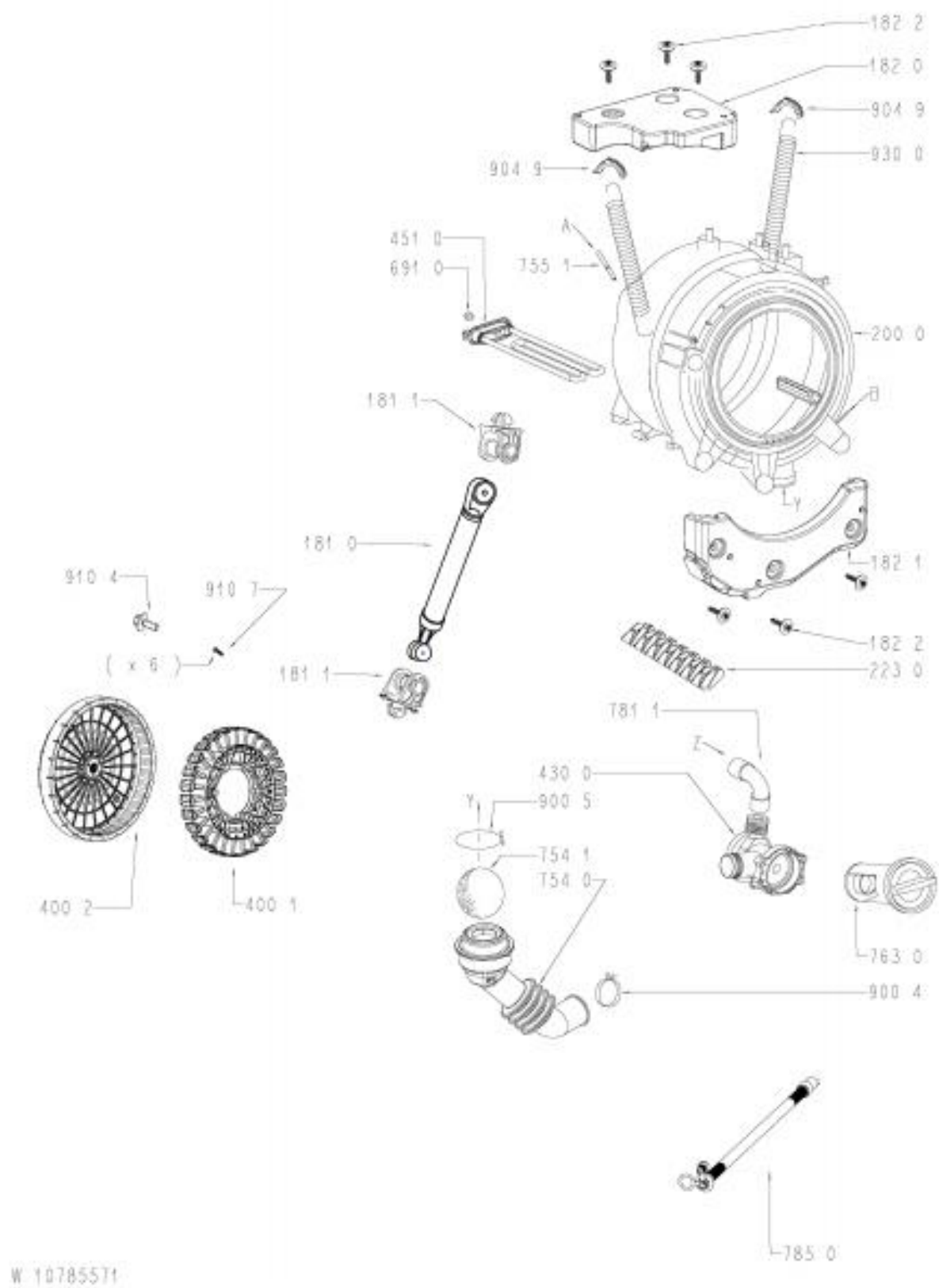
**Upravljačka jedinica**

Vrsta.....	ETNA
Voltaža.....	~20 ms
Frekvencija.....	50 Hz

## 5.2. CAD model perilice rublja



**Slika 5.2. CAD model FSCR 90425, prvi dio [11]**



Slika 5.3. CAD model FSCR 90425, drugi dio [11]

<b>Poz.</b>	<b>12NC</b>	<b>Opis</b>
1310	<b>4810 105 64917</b>	Brava
1400	<b>4810 107 65495</b>	Staklo od vrata
1430	<b>4810 105 64947</b>	Unutarnji okvir vrata
1433	<b>4810 106 25216</b>	Staklena vrata vanjskog okvira
1440	<b>4810 105 64912</b>	Staklo okvira vrata
1441	<b>4810 714 28351</b>	Držač vrata
1600	<b>4810 107 21766</b>	Fronta OMNIA
1601	<b>4810 105 64940</b>	Stupna ploča
1603	<b>4810 106 85844</b>	Nosiva kopča
1610	<b>4810 106 97252</b>	Stražnji panel
1630	<b>4810 105 79199</b>	Gornji poklopac
1800	<b>4810 107 03007</b>	Oplata perilice rublja
1810	<b>4810 107 54041</b>	Amortizer bubnja
1811	<b>4812 401 18413</b>	Držač amorizera bubnja
1820	<b>4810 107 14311</b>	Nosač opruge, OMNIA
1821	<b>4810 107 10756</b>	Nosač kade bubnja
1822	<b>4812 310 39249</b>	Vijci, razni
1830	<b>4810 105 83233</b>	Nosač kontrolne ploče
1850	<b>4810 106 44894</b>	Razdjelnik M10x39
1880	<b>4810 105 64919</b>	Šarka
1881	<b>4810 105 64921</b>	Tuljak šarke
1910	<b>4810 106 32436</b>	Unutrašnja oplata vrata
1911	<b>4801 111 00191</b>	Unutrašnja brtva, Eureka 490
2000	<b>4810 106 83916</b>	Sklop bubnja 58L
2230	<b>4810 105 97314</b>	Rebra u bubnju 55-58 l
3010	<b>4810 107 76323</b>	Upravljačka jedinica + ručica posude
3011	<b>4810 107 78836</b>	WHIRPOOL LOGO CHROME
3310	<b>4810 106 91642</b>	Centralno dugme, unutrašnji dio
3311	<b>4810 106 81353</b>	Centralno dugme, vanjski dio
3500	<b>4810 106 72532</b>	Modul upravljačke jedinice
4001	<b>4810 107 01109</b>	Stator TM2
4002	<b>4810 107 06381</b>	Rotor TM2-TM9
4210	<b>4810 105 03697</b>	Filter vode
4300	<b>4810 105 84942</b>	Vodena pumpa
4510	<b>4810 105 57232</b>	Grijač
4900	<b>4810 107 28769</b>	Strujni kabal
4910	<b>4812 321 28367</b>	Razdjelnik
5210	<b>4810 108 16709</b>	ETNA programator
5211	<b>4810 106 21590</b>	ETNA sustav
5710	<b>4810 106 23017</b>	Dvostruki elektromagnetski ventil 5.5
5810	<b>4810 105 22350</b>	Tlačni sklop
6330	<b>4810 106 02648</b>	Brava vrata
6331	<b>4810 105 90587</b>	Poluga brave vrata
6800	<b>4810 105 80618</b>	Dispenzer
6801	<b>4810 105 80672</b>	Posuda



6803 **4810 105 80677** Sifon  
6804 **4810 105 80674** Pregrada  
6910 **4812 282 19485** Senzor NTC  
7010 **4819 530 28926** Crijevo za dovod vode 2,5 m (Eltek)  
7020 **4810 107 31143** Priključak crijeva  
7080 **4812 530 49392** Crijevo  
7500 **4810 104 67662** Ekspanzijska komora za vodu  
7540 **4812 530 29495** Drenažno fleksibilno crijevo Eureka  
7541 **4812 530 28832** Povratna pregrada  
7551 **4810 105 96633** Parno crijevo  
7630 **4810 105 06380** Filter pumpe  
7810 **4801 111 00342** Vanjsko crijevo za vodu  
7811 **4810 107 35354** Ulazno crijevo pumpe  
7830 **4812 530 29497** Tlačno crijevo  
7850 **4801 111 05006** Crijevo  
9001 **4810 107 31037** Pregrada Eureka  
9002 **4810 713 04027** Stezaljka crijeva  
9003 **4801 111 04423** Stezaljka crijeva  
9004 **4812 401 18414** Stezaljka crijeva  
9005 **4819 401 18529** Stezaljka crijeva  
9006 **4812 401 18446** Kopča kabela  
9008 **4812 290 88048** Kopča kabela  
9040 **4810 107 52826** Razmaknica 65 mm  
9041 **4801 111 03932** Gumene zaklopke  
9049 **4801 111 01846** Seleni amortizera  
9100 **4812 502 38152** Vijak 4,8x19  
9101 **4812 502 48344** Vijak, razni  
9102 **4810 106 92495** Vijak M5x16  
9104 **4810 106 55372** Vijak M8x23  
9106 **4810 212 01061** Vijak P4X18,5  
9107 **4810 107 80181** Vijak M6x32  
9300 **4810 108 16226** Opruga bubnja [11]

### 5.3. Proces izrade perilice rublja

Proizvodni proces je podijeljen u: proizvodnju (izradu dijelova), podsklop (sastavljanje manjih dijelove u komponente), te sklop (sastavljajući veće dijelove zajedno da se formira konačni proizvod). Proizvodni proces se sastoji od nekoliko različitih postupaka, svaki je specifičan za određenu vrstu sirovog metala: metalne ploče, plastike ili aluminijske. Nakon što su sastavni dijelovi napravljeni, oni se sastavljaju; glavni sklopovi ili dijelovi uključuju prijenos, pumpu, bubanj, prsten za balans i bojanje dijelova. Konačno, svi podsklopovi se instaliraju zajedno unutar ljuske perilice rublja.

#### 5.3.1. Proizvodnja osnovnog materijala

1. Većina metalnih dijelova su proizvedeni postupkom prešanja. Ovaj naziv vrlo dobro opisuje postupak u kojem stroj tlači pod visokim pritiskom metalne ploče u kalup. Metal će poprimiti oblik kalupne šupljine nakon svega nekoliko trenutaka izloženim visokim pritiskom. Ako je to moguće, metal se izravno nakon valjanja u ploče direktno šalje u prešu. Kada to nije moguće, metalna ploča se prvo reže i oblikuje ručno na dimenzije potrebne za kalupnu šupljinu.
2. Plastični dijelovi se formiraju u stroju za injekcijsko prešanje koji ima metalni kalup s jednom ili više šupljina u obliku željenog dijela. Nakon što je granulirani grijan do svog tališta plastična masa se ubrizgava u kalup pod visokim tlakom. Dalje, voda prolazi kroz kalup gdje hladi i skrutne dio. Kalup se zatim otvara i otpresak se izbacuje iz kalupa pomoću pinova. Kada pogledate na plastičnom dijelu, često možete vidjeti male krugove stvorene od tih pinova.
3. Aluminijski transmisijski dijelovi nastaju kao poluproizvod u kalupu za lijevanje, koji radi slično kao kalup za injekcijsko prešanje, osim što se ne koristi tlak. Rastaljeni metal popunjava kalup i zatim se hladi. Nakon grubog lijevanja konačni oblik se postiže raznim postupcima bušenja, brušenja i oblikovanja površine

### 5.3.2. *Sastavljanje podsklopova*

1. Sustav za prijenos je sastavljen ručno od strane radnika koji sklapaju nekoliko vratila i zupčanika zajedno. Radnici zatim dodaju zadanu količinu ulja i sklapaju prijenosni sustav.
2. Vodena pumpa je sastavljena automatski. Roboti ugrađuju rotor te brtvilima brtve pumpu. Neki proizvođači koriste toplinu i vibracije (koje generiraju toplinu) kao sredstvo za brtvljenje.
3. Dijelovi kade bubnja su izrađene u prešama, a podsklop je proizveden pomoću robota. Nakon što je lim savijen u obliku bubnja, bočno je zavaren. Zavar je tada poravnan i bubanj je smješten na jedinici za rastezanje, koja proteže kadu u svoj konačni oblik. Dno se zavari na bubanj. Ako je kada izrađena od nehrđajućeg čelika ona se polira tako da ne oštećuje odjeću. U protivnom, kada je umočena u otopinu koja je površinski zaštititi i zagrijava se na oko 1600 stupnjeva dok ova prevlaka ne stvrdne. Ako kada neće biti vidljiva, postupak je gotov. Ako će kada biti vidljiva uz završni premaz nanosi se zaštitna boja koja kadi daje bijelu ili plavu boju.
4. Prsten za ravnotežu je velike mase i njegova svrha je stabilizacija perilice rublja u radu. Vanjska oplata je od plastike, s prstenom od metala rastopljenim u plastici radi čvrstoće. Ovaj prsten, teži više od 9 kg i drži stroj na mjestu tijekom rada.
5. Različiti proizvođači koriste razne tehnike bojanja oplata. Neke od tehnika koje se koriste su: uporaba lima koji je obojan kao poluproizvod (nije potrebno bojanje ali je slabija zaštita od korozije), elektrostatsko bojanje, automatsko bojanje.

### 5.3.3. Sastavljanje sklopova

1. Ovaj proces počinje montažom prijenosnog sustava na balansni prsten. Prijenosni sustav je oslonjen na ležaju koji je pričvršćen na kadu bubnja. Još jedan ležaj (donji ležaj), sklop kočionog sustava i pogon remenice je postavljen na kraju prijenosa. Dalje, zakretni mehanizam zvan eng. „pivot dome“ i noge su pričvršćene na sklopu i drže sve dijelove zajedno.
2. Korištenjem hidrauličkog mehanizma, radnici zatim podižu ovaj sklop, pod nazivom modul, na bazu perilice rublja. Opruge su dodane za održavanje modula i baze zajedno. Sustav se brtvi, bubanj je spojen sa prijenosim mehanizmom unutar kade bubnja te se postavljaju plastični pokrovc. Plastično središte kade bubnja je spojeno sa vratilom prijenosnog mehanizma sa stražnje strane prijenosnog sustava pomoću vijaka.
3. Pumpa zajedno sa svojim nosačem je pričvršćena pomoću vijaka na elektromotor perilice rublja, koji je dodatno zaštićen oklopom od vlažne atmosfere u radu. Ovaj sklop se pozicionira na bazu perilice rublja, te se spaja sa prijenosnim sustavom pomoću remenice i vodenih crijeva.
4. Ventil za miješanje za kontrolu mješavine tople i hladne vode se priključuje na stražnji dio oplata. Nakon toga spajaju se električne instalacije do svih potrebnih dijelova. Čitav sklop se zbog svoje težine pomoću robota podiže i postavlja u školjku perilice rublja.
5. Sklop je pričvršćen vijcima za bazu. Crijevo za ispuštanje vode se spaja na sustav. Nakon testiranja, spaja se prednja fronta na školjku pomoću vijaka. U perilicu se stavljaju dodatni dijelovi kao i uputstva za uporabu.
6. Pakiranje perilice rublja se vrši automatskim putem pomoću robota. On sklapa kartonsku kutiju oko aparata, provlači i preša plastične vezice, te sve skupa pakira u prozirni omotač koji je zaštita od vlage. [12]

## 6. TROŠENJE KOMPONENATA PERILICE RUBLJA

Tijekom radnog vijeka perilice rublja svi dijelovi nisu konstruirani da izdrže jednaki period, tako da je potrebno određene dijelove mijenjati nakon trošenja. Dijelovi koji su konstruirani na način da se mijenjaju nekoliko puta u radnom vijeku uređaja zovu se potrošni dijelovi. Svrha potrošnih dijelova je da smanjuju troškove održavanja aparata. Konstruirani su na način da se jednostavno izmjenjuju, sprječavaju trošenje većih dijelova uređaja, relativno su niske cijene i zadovoljavajućih mehaničkih svojstava.

Kada nekim slučajem tih dijelova ne bi bilo, mehanizmi trošenja bi i dalje bili prisutni zato jer je nemoguće u potpunosti ukloniti trenje, čiji je on upravo većinom uzročnik. Kako bi utjecaj mehanizama trošenja i dalje bio prisutan, oni bi doveli do razaranja većih i vitalnijih dijelova samog uređaja i time bi trošak bio puno veći, a radni vijek puno kraći. Upravo zbog tih razloga u daljnjem poglavlju će se identificirati potrošeni dijelovi perilice rublja, kao i sve dijelovi kod kojih se javlja trenje materijala koje dovodi do trošenja čiji je krajnji rezultat lom strojnog dijela.

### 6.1. Općenito o trošenju perilice rublja

Prosječan životni vijek perilice rublja iznosi 11 godina. Izvještaji potrošača preporučuju izmjenu već nakon 8 godina, osim ukoliko se ne radi o nekom top-modelu koji nam je uz to izuzetno privlačan. Osim toga preporučuje se zamjena svih perilica rublja s gornjim punjenjem proizvedene 1999.godine ili prije. Čak zamjena perilice rublja kupljene 2005.godine ili starije može znatno smanjiti dosadašnju potrošnju vode. Uz to ukoliko se radi o perilici rublja koja je relativno nova ali je istekao garantni rok i počeli su se nizati kvarovi trebate početi razmišljati o kupnji nove. [13]

### **6.1.1. Brtve**

Zadatak brtvi je spriječavanje da između dva funkcionalno razdvojena prostora dođe do toka medija iz jednog prostora u drugi. Brtve moraju ograničiti gubitke zbog propusnosti u takvoj mjeri da budu u potpunosti zadovoljeni zahtjevi u pogledu sigurnosti, a da pri tome omogućuju ekonomski povoljna konstruktivna rješenja

Prema namjeni brtve moraju ispunjavati sljedeće zahtjeve i svojstva:

- nepropusnost (radi smanjenja eventualnih gubitaka)
- pogonska sigurnost (greškama nastaju gubici prekidom rada)
- vijek trajanja
- rastavljivost
- gubitak snage (gubitkom medija ili trenjem)
- utjecaj na medij (medij neizložen promjenama)
- mehanička svojstva
- propusnost plinova
- toplinska vodljivost

Za materijale iz kojih se izrađuju važna su sljedeća svojstva:

- mehanička
- klizna
- otpornost na kemijske utjecaje
- nepropusnost
- toplinska rastezljivost
- otpornost na eroziju

Možemo razlikovati brtvljenje nerastavljivih, uvjetno rastavljivih i rastavljivih spojeva. Kod brtvljenja nerastavljivih spojeva rastavljanje se može postići samo razaranjem spoja, dok kod uvjetno rastavljivih spojeva rastavljanje se postiže samo pomoću jednog od dijelova u spoju. [14]

#### 6.1.1.1. Brtva vrata

Jedan od najučestalijih kvarova i problema na perilicama je upravo ova brtva. Do njenog trošenja i uništavanja dolazi zbog nekoliko razloga:

- Kamenac (tvrda voda)
- Mehaničko oštećenje
- Starenje materijala

Njeno trošenje je najprisutnije kod modela sa prednjim punjenjem jer je ta brtva prilikom rada perilice izložena vodi i vlažnoj atmosferi što kod modela s gornjim punjenjem nije toliko slučaj. Glavni neprijatelj perilica rublja je kamenac, čije štetnosti ljudi još uvijek nisu dovoljno svjesni. Prilikom spajanja aparata na vodovodnu mrežu trebali bi testirati tvrdoću vode sa pH testerom te ukoliko je ona izvan prihvatljivih okvira redovito dodavati potrebne aditive tijekom pranja, što gotovo nitko ne radi. Tijekom godina rada u takvim uvjetima dolazi do rastvaranja brtve vrata, najčešće puca uzdužno i obodno što dovodi do curenja vode i nepravilnog rada aparata nakon čega je istu potrebno zamijeniti.



**Slika 6.1. Nova brtva vrata [15]**



**Slika 6.2. Oštećena brtva vrata [16]**

Dominantan mehanizam trošenja u ovom slučaju je korozija uzrokovana kamencom u kombinaciji sa vlažnim okolišem koja postepeno razara elastomer od kojeg je brtva napravljena.

#### **6.1.2. Brava vrata**

Uslijed dugotrajnog rada perilice rublja dolazi do mnogobrojnih otvaranja i zatvaranja vrata, te njihovog zaključavanja i otključavanja. Kao rezultat toga jedan od češćih kvarova je i sama brava na vratima.

Dominantna vrsta trošenja je udarno trošenje. Također dodatan uzrok može biti prekomjerna uporaba sile prije nego što se brava otključala. U slučaju kvara brave, perilica rublja neće pokrenuti program jer je uvjet da se vrata zaključaju prije pranja.



**Slika 6.3. Nova brava vrata [15]**



### 6.1.3. Remen

Zadatak ovog remena je da prenosi moment sa elektromotora na bubanj uz pomoć površinskog trenja. Ukoliko dođe do trošenja ovog remena, sama rotacija bubnja će biti neujednačena i njegova efikasnost neće biti na zadanoj razini. Također u slučaju pucanja remena, nastaje momentalan prekid rada perilice rublja jer je onemogućena rotacija bubnja.



**Slika 6.4. Remen [15]**

Remen je napravljen od određenih elastomera koji su konstruirani za rad u sličnim okruženjima (vlaga, deterdženti, voda). Kod većine proizvođača te remene proizvode vanjske kompanije s kojima imaju dogovorenu suradnju.

Kod remena su pristutni mehanizmi trošenja:

- Adhezija - uslijed trenja s remenicom
- Tribokorozija - uzrokovana kamencom
- Umor površine - zbog cikličke promjene naprezanja uslijed vrtnje.

#### 6.1.4. Četkice motora

Prilikom višegodišnjeg rada elektromotora dolazi do trošenja ovih četkica.

Opis trošenja četkica motora:

Klasični istosmjerni motor se sastoji od rotirajuće armature koja je oblikovana u obliku elektromagneta s dva pola i od statora kojega čine dva permanentna magneta. Krajevi namota armature spojeni su na rotacijski prekidač, komutator, koji prilikom svakog okretaja rotora dvaput mijenja smjer toka struje kroz armaturni namot stvarajući tako moment koji zakreće rotor. Protjecanjem istosmjerne struje kroz vodič koji se nalazi u magnetskom polju stvara se, prema pravilu lijeve ruke, sila koja zbog svog hvatišta, koje se nalazi izvan osi rotacije rotora, stvara moment koji zakreće rotor. Električna veza između rotora i izvora istosmjerne struje se ostvaruje tako da se izvor istosmjerne struje spoji na grafitne četkice koje kližu po komutatoru. Prilikom prelaska četkice s jedne na drugu lamelu komutatora postoji trenutak kada se izvor nalazi u kratkom spoju uslijed čega dolazi do iskrenja četkica.



Slika 6.5. Četkice motora [15]

Iskrenje četkica dovodi do polaganog uništavanja grafitnih četkica, ali i do oksidacije i trošenja komutatora, pa je to glavni nedostatak ove vrste motora. Iskrenje se pojačava ako se povećava: brzina okretanja motora, napon, opterećenje, odnosno struja kao posljedica povećanja napona ili opterećenja. Iskrenje osim samog uništavanja komutatora i četkica za posljedicu ima i stvaranje čujnog i električnog šuma. [17]

### 6.1.5. Amortizeri bubnja

Ovi amortizeri služe za stabilizaciju vibracija uzrokovanih prilikom pranja, pogotovo centrifugiranja rublja. Ukoliko počnu pokazivati znakove trošenja dolazi do povećane buke prilikom rada perilice rublja. Uz to, ukoliko se ne zamjene na vrijeme mogu dovesti do još značajnih kvarova poput ležajeva, prijenosnog sustava, remenice, te elektronskih sustava.



**Slika 6.6. Amortizeri bubnja [15]**

Ovisno o kapacitetu perilice rublja mijenjaju se i njihove dimenzije. Većinom ih proizvode vanjske kompanije specijalizirane za proizvodnju amortizera tako da ukoliko i dođe do potrebne izmjene njihove cijene nisu izrazito velike, određeni modeli odgovaraju na velik broj različitih perilica različitih proizvođača.

Dimenzionirani su sa stupnjem sigurnosti koji je nekoliko puta veći od sile u normalnom radu, a većinom dolazi do kvarova zbog dotrajalosti brtvnih gumica unutar sustava amortizera. U najčešćoj izvedbi su s dva amortizera s gornjeg dijela te dva s donjeg dijela bubnja.

### 6.1.6. Vodena pumpa

Vodena pumpa služi za izbacivanje vode iz bubnja pri završetku ciklusa pranja. Kada dođe do kvara vodene pumpe, perilica staje s radom a voda koja je u pumpi procuri na pod. Njen najveći neprijatelj je upravo tvrda voda, odnosno voda s visokom kiselošću i veliki uzročnik stvaranja kamenca. U ovom slučaju stvaranjem nakupina kamenca vrlo brzo strada vodena pumpa.

Vodena pumpa se sastoji od lopatica i kućišta. Uslijed rotacije lopatica stvara se razlika tlakova koje pojačavaju protok vode. Ukoliko imamo vodu punu kamenca uslijed kavitacijske erozije strujanjem takve vode po lopaticama dolazi do oštećivanja te loma lopatica odnosno kvara vodene pumpe. Materijali od kojih su izrađene lopatice su većinom neke smjese polietilena, upravo zbog svoje niske gustoće i mase, čime smanjuju potrošnju električne energije kao i prihvatljivije cijene i zadovoljavajućih svojstava. Jedino rješenje kojim se može spriječiti eventualan kvar vodene pumpe, odnosno lopatica je testiranje kvalitete vode na koju je perilica rublja spojena. Ukoliko kvaliteta ne zadovoljava onda je potrebno dodavati redovito aditive za razbijanje kamenca i samim time spriječiti potencijalne kvarove. U slučaju oštećenja i loma lopatica, potrebno je zamijeniti čitavu vodenu pumpu jer proizvođači ne prodaju posebno lopatice pumpe.



Slika 6.7. Vodena pumpa [15]

### 6.1.7. Grijač vode

Element koji služi za zagrijavanje vode prilikom pranja na visokim temperaturama se zove grijač vode. Koristi se tip cijevnog grijača određenog oblika.

Materijal izrade može biti: bakar, nehrđajući čelik i keramika (najnovija vrsta)

Promjer im je najčešće od Ø6 mm - Ø16 mm.

Model može varirati ovisno o vrsti perilice rublja, ali se većinom koriste standardne varijante, upravo zbog cijene proizvodnje i jednostavnosti zamjene.

Prilikom kvara ovog dijela perilica radi normalno i pokazuje grešku grijača vode. Pranje će se normalno obaviti, jedino što će voda biti hladna bez obzira na odabranu temperaturu.



**Slika 6.8.      Grijač vode [15]**

Također i njegov najveći neprijatelj je kamenac čijim se skupljanjem na grijaču smanjuje radni otpor struje i efikasnost zagrijavanja, što na kraju dovodi do kratkog spoja i samog kvara grijača.

Najnovije su varijante keramički grijači, koji su nešto otporniji i na sami kamenac kao i promjene strujnog napona. Proizvođači za njih garantiraju radni vijek od desetak godina, ali je i njihova cijena zato 5-6 puta veća od klasičnog grijača.

Glavna vrsta trošenja je korozija uzrokovana kamencom.

### 6.1.8. Ležaj bubnja

Ovo je jedan od sigurno najučestalijih kvarova na perilici rublja. Ovaj ležaj smješten je u rukavcu bubnja te se rotira zajedno s bubnjem. Njegova svrha je da smanji trenje prilikom rotacije bubnja, kao i da snizi buku uslijed rotacije u pranju, a pogotovo centrifugiranju rublja.

Vrsta ležaja koji se većinom koristi je radijalni kuglični jednoredni ležaj.

Njegov kvar se manifestira neugodnim zvukovima prouzročenim tijekom centrifugiranja rublja. Uzročnici kvara mogu biti različiti poput: istrošenosti tijekom ciklusa i godina rada, neadekvatna popunjenost bubnja rubljem tijekom pranja, vibracije, dinamičko opterećenje tijekom pranja.



Slika 6.9. Ležaj bubnja [18]

Kod starijih perilica rublja, gdje nisu postojale senzorske kontrole procesa pranja kao ni elektronički programatori, kvar ležaja nije predstavljao veliki problem jer je postojala mogućnost njegove izmjene. Situacija je drugačija kod novijih perilica rublja zato jer kod većine njih nije moguća izmjena samog ležaja već čitavog bubnja i kade zato jer je stražnji dio bubnja zaliven plastičnom masom kako bi se zaštitile elektronske instalacije uređaja.



**Slika 6.10. Kada bubnja s ležajevima [19]**

Problem ponajviše predstavlja cijena tog kvara. Naime, kod starih uređaja novi ležaj se mogao pronaći po cijeni od 30 do nekih 100 HRK, te cijena rada servisnog majstora za tu izmjenu nije bila visoka. Kvar ležaja bubnja kod novijih uređaja iziskuje izmjenu čitavog bubnja i kade a ta cijena se kreće od nekih 900 HRK za osnovne modele, te iznad 1400 HRK za skuplje modele. Naravno cijena se mijenja ovisno i o proizvođaču perilice rublja.

Upravo iz ovog razloga, u teorijskom dijelu rada će biti provedena karakterizacija jednog ispitnog ležaja potrošenog u radu nakon određenog vremena.

Utvrđiti će se način izrade ležaja, materijal od kojeg je napravljen određeni dio te površinska prevlaka, ukoliko ista postoji.



**Slika 6.11. Razni ležajevi [20]**

Dimenzije samih ležaja se mijenjaju ovisno o modelu perilice rublja odnosno njenog kapaciteta. Postoje ležajevi manjih i većih poprečnih presjeka, kao i debljine, što ovisi o perilici rublja za koju su projektirani.

Većina ljudi suočeni sa ovakvim kvarom se odlučuje za kupnju novog uređaja jer im plaćanje popravka jednostavno nije isplativo, pogotovo ukoliko su već imali neke servise na tom aparatu.



## 7. EKSPERIMENTALNO ISPITIVANJE UZORAKA

U ovom poglavlju ćemo provesti eksperimentalnu analizu uzoraka. Uzorci su određene potrošene komponente perilice rublja poput:

- Grijača
- Vodene pumpe
- Brave vrata
- Ležajeva

Utvrđiti će se mehanizmi trošenja dijelova uslijed kojih je došlo do kvarova određenih strojnih dijelova. Dijelovi su pripadali određenim modelima perilice rublja marke Whirlpool, te je nakon određenih godina rada u različitim uvjetima došlo do njihovog trošenja.

U slučajevima grijača, vodene pumpe i brave vrata će biti fotografirani dijelovi i utvrditi će se iz priloženih fotografija uvjeti pod kojima je došlo do trošenja istih.

U prethodnom poglavlju je naveden utjecaj ležaja bubnja na rad perilice rublja, kao i razlog zbog kojeg je taj dio odabran za detaljnju karakterizaciju materijala.

Kod ležaja će biti provedena karakterizacija materijala koja uključuje:

- Mjerenje mikrotvrdoće (Vickers)
- Analizu mikrostrukture pod svjetlosnim mikroskopom
- Analizu kemijskog sastava pomoću uređaja SEM (EDS)

Nakon provedene kompletne analize trošenja uzoraka određenim metodama biti će donesen zaključak vezan za mikrostrukturu, kemijski sastav i okolinu u kojoj su ti strojni dijelovi bili izloženi tijekom višegodišnje uporabe.

## 7.1. Potrošeni dijelovi perilice rublja

U daljnjem nastavku ovog poglavlja biti će priložene slike potrošenih dijelova te navedeni uzroci trošenja istih dijelova perilice rublja.

### 7.1.1. Grijač vode

Iz slike 7.1. se vide dva grijača vode.

Gornji grijač vode je pregorio uslijed kratkog spoja nakon kraćeg vremenskog rada.

Donji grijač je nakon višegodišnjeg rada zbog prevelike količine nakupljenog kamenca stradao uslijed djelovanja korozije.



Slika 7.1. Grijači vode

### 7.1.2. Vodena pumpa

Na slici 7.2. je prikazana vodena pumpa marke Bleckmann. Svrha ove vodene pumpe je da izbacuje vodu iz perilice rublja pri završetku ciklusa pranja. Tijekom njenog rada izložena je agresivnim radnim uvjetima. Kućište radi u vlažnim uvjetima i toplijoj atmosferi, dok su lopatice pumpe izložene strujanju medija. Medij je vruća voda pomiješana sa raznim deterdžentima i omekšivačima.



**Slika 7.2. Prednji dio vodene pumpe „Bleckmann“**

Lopatice rotora vodene pumpe su izrađene od određenog polimera isključivo iz razloga povišene otpornosti na korozivne uvjete, niske gustoće, male mase te prihvatljive cijene izrade strojnog dijela.

Na slikama 7.5. i 7.6. je vidljiv uzrok oštećenja kavitacijske erozije uslijed dugogodišnjeg strujanja agresivnog medija po lopaticama rotora vodene pumpe.



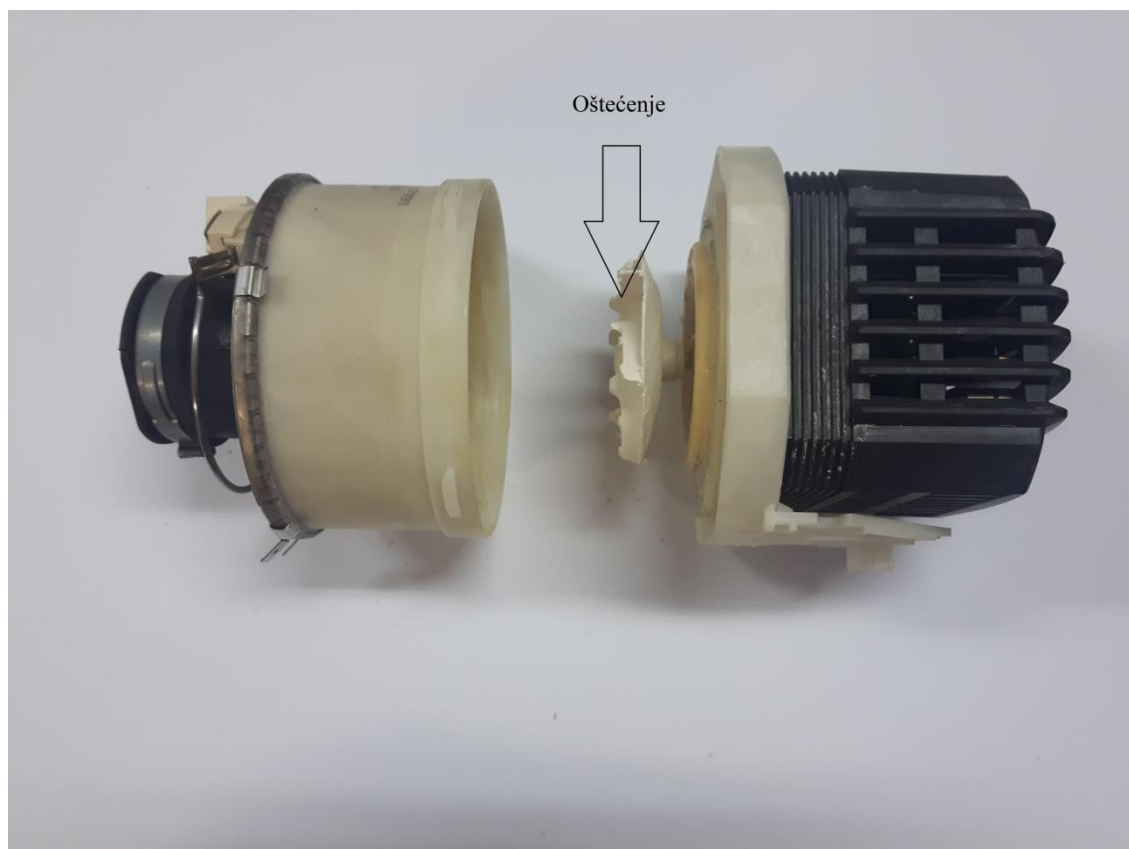
**Slika 7.3. Stražnji dio vodene pumpe „Bleckmann“**



**Slika 7.4. Bočni dio vodene pumpe „Bleckmann“**



**Slika 7.5.      Prikaz oštećenja lopatica**



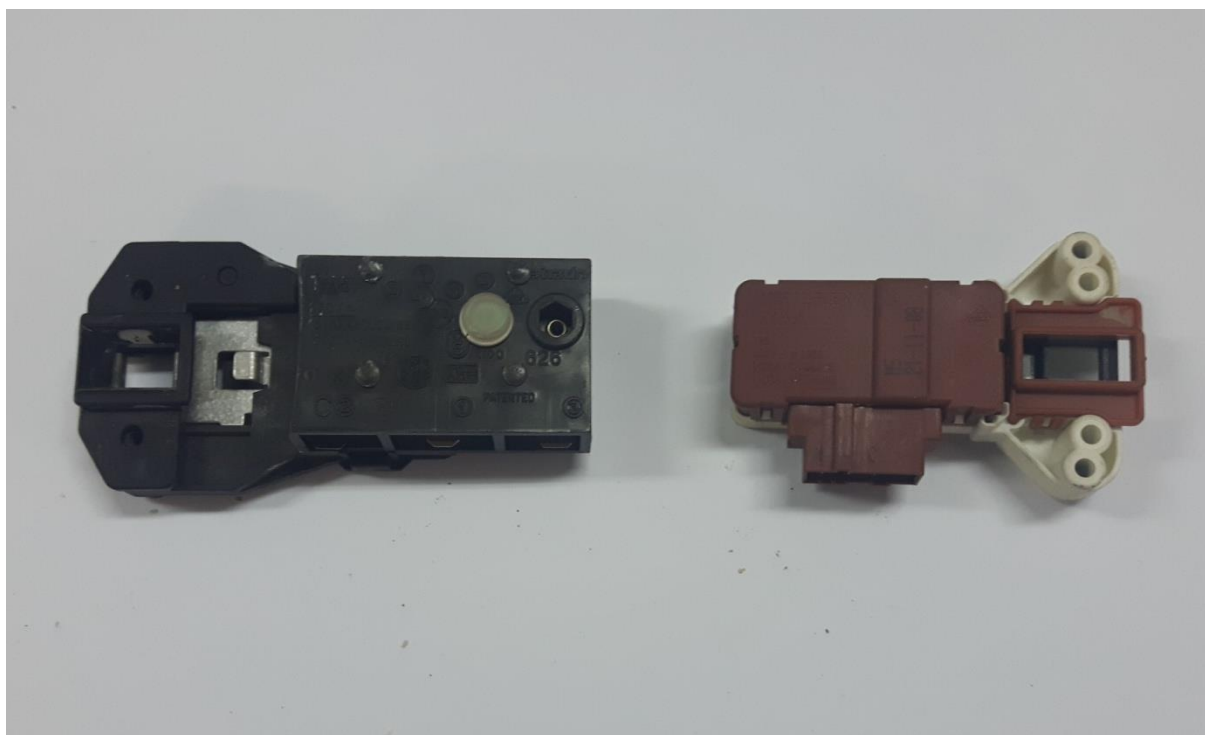
**Slika 7.6.      Bočni prikaz oštećenja lopatica**

### 7.1.3. Brava vrata

Tijekom višegodišnjeg rada perilice rublja dolazi po nekoliko tisuća puta do procesa otvaranja/zatvaranja vrata. Prilikom svakog pokretanja perilice rublja vrata se zaključavaju, te pri završetku programa pranja otključavaju.

U slučaju kvara brave vrata, kod nekih novijih modela nije moguće započeti proces pranja rublja dok se ista brava ne izmjeni.

Također, do oštećenja brave vrata može doći i nestručnim rukovanjem, odnosno mehaničkim lomom ukoliko se nekoliko puta pokuša s povećanom silom otvoriti vrata prije nego što se ona otključaju pri završetku pranja.



**Slika 7.7. Brava vrata perilice rublja**

Glavna vrsta trošenja kod ovog strojnog dijela je udarno trošenje. Do loma dolazi uslijed kontakta metalnih dijelova (kopče) brave prilikom otključavanja/zaključavanja i oni su konstruirani da izdrže određeni broj ciklusa.

#### 7.1.4. Ležaj bubnja

Ležaj bubnja prenosi ravnomjerno opterećenje sa bubnja na nosivu konstrukciju perilice rublja. Njegova svrha je da smanji što je moguće više trenje uslijed povišenih brzina rotacije bubnja tijekom pranja, odnosno posebno tijekom centrifugiranja rublja.

Brzine rotacije bubnja tijekom centrifuge iznose od 500okr/min do čak 1600okr/min kod najsuvremenijih modela. Trajanje centrifuge nije dugotrajno, ono iznosi svega nekoliko minuta tijekom svakog ciklusa pranja, ali kada tu još dodamo rotaciju tijekom normalnog pranja koja iznosi 50 – 150okr/min jasno nam je koliko je velik broj rotacija koje ležaj mora podnijeti tijekom radnog vijeka.



**Slika 7.8. Razni potrošeni ležajevi bubnja**



Najmanji ležaj je odabran za daljnju karakterizaciju materijala, slika 7.8.



**Slika 7.9. Ležaj bubnja**



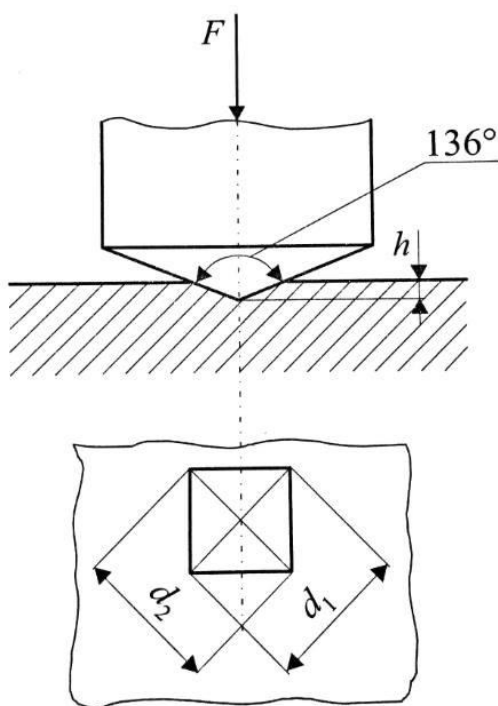
**Slika 7.10. Rastavljen ležaj**



## 7.2. Mjerenje tvrdoće po Vickersu

### 7.2.1. Princip

Vickers je svojom metodom uklonio glavne nedostatke Brinell-ove metode, pa je po ovoj metodi moguće mjeriti i najtvrdje materijale, a tvrdoća nije ovisna o primijenjenoj sili. Prvi nedostatak uklonjen je primjenom najtvrdjeg materijala, dijamanta za penetrator, a drugi geometrijom penetratora. Naime kod Vickersa je penetrator istostrana četverostrana piramida s kutom između stranica od  $136^\circ$ . Ovakav kut nije odabran nasumice, već se utiskivanjem penetratora s tim kutem, dobivaju vrijednosti tvrdoće neovisne o primijenjenoj sili, pa se tvrdoća mekih materijala i tvrdih materijala može mjeriti primjenom iste sile, a isto tako se tvrdoća istog materijala može mjeriti s različiti opterećenjima. Utiskivanjem ovakvog penetratora u materijalu ostaje utisak oblika piramide, slika 7.11.



Slika 7.11. Skica penetratora i otiska kod Vickersove metode [21]

Tvrdoća se određuje po izrazu:

$$HV = \frac{F}{S} \quad (2)$$

gdje su:

F – primijenjena sila, N

S – površina šuplje piramide otisnute u materijalu, mm<sup>2</sup>

Pomoću mjernog mikroskopa mjere se dijagonale ( $d_1, d_2$ ) baze piramide otisnute u materijalu, a tvrdoća se određuje prema izrazu:

$$HV = \frac{F \times 0,189}{d^2} \quad (3)$$

gdje je:

F – primijenjena sila u N

d – srednja vrijednost dijagonala baze piramide u mm,  $d = (d_1 + d_2)/2$

Kod Vickersa se kao i kod Brinella o tvrdoći zaključuje na osnovi veličine otiska.

Primijenjena sila (F) varira od 49N (5kp) do 981N (100kp). No sila može biti i niža. Mikrotvrdomjeri koji rade po Vickersovoj metodi raspolažu čak i silom  $F=0,098N$  (10p!).

Upotreba određene sile ovisi o debljini uzorka. Moguće je mjeriti vrlo tanke uzorke primjenom male sile. Nadalje, upotrebom male sile moguće je mjeriti tvrdoću pojedinih zrna (kristala) u mikrostrukturi materijala.

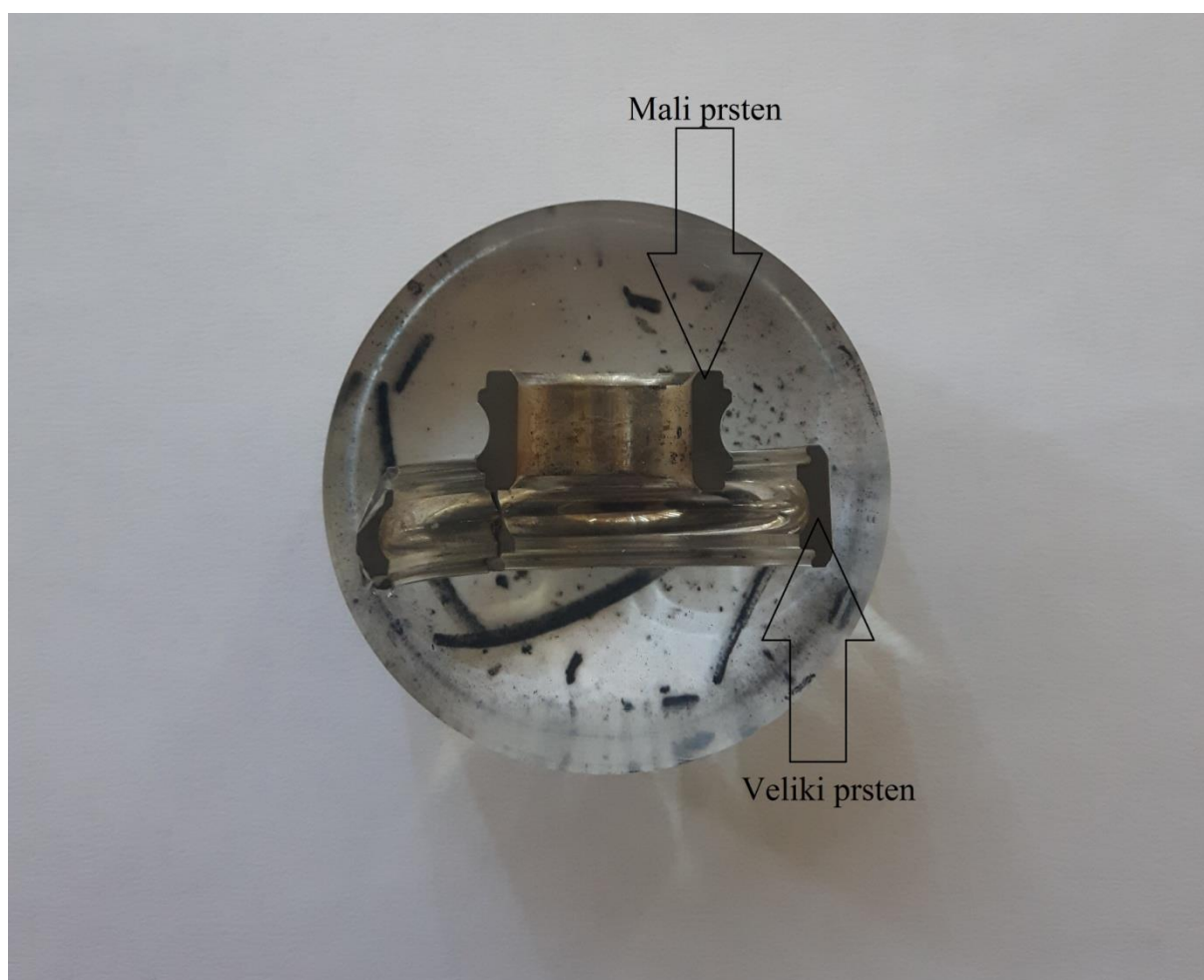
Uz simbol HV pri rezultatu mjerenja navodi se kao indeks i primijenjeno opterećenje u kp (npr. HV5 = 400, znači da je sila utiskivanja iznosila  $5 \times 9,81N$ ). [21]

### 7.2.2. Mjerenje tvrdoće uzoraka

Rastavljanjem ležaja smo dobili unutrašnji (mali) i vanjski (veliki) prsten ležaja. Na svakom od tih prstenova će biti ispitana tvrdoća. Svaki od njih je prerezan na pola, kako bi bilo moguće utvrditi tvrdoću po čitavim poprečnim presjecima uzorka.

Nakon što su uzorci prerezani po pola, potrebno je bilo očistiti uzorke i ispolirati poprečni presjek uzoraka.

Uzorci su se zalili s polimernom masom kako bi se olakšalo rukovanje njima prilikom provođenja karakterizacije, slika 7.12.



**Slika 7.12. Uzorci zaliveni u polimernu masu**

Postupak mjerenja tvrdoće smo proveli na tvrdomjeru PMT-3, te se ispitivala tvrdoća poprečnog presjeka na unutrašnjem i vanjskom prstenu. Opterećenje s kojim smo radili je bilo 200g, odnosno sila  $F = 1,962\text{N}$  u trajanju od 10 sekundi. Obavljena su tri mjerenja za svaki uzorak te je izračunata srednja vrijednost tvrdoće.

### ***Mali prsten***

U tablici 2 prikazani su rezultati tri mjerenja i srednja vrijednost tvrdoće unutrašnjeg prstena

<b>Tablica 2. Tvrdoća unutrašnjeg prstena</b>			
<b>Broj mjerenja</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Mikrotvrdoća	444HV0,2	536HV0,2	536HV0,2
Srednja vrijednost		505HV0,2	

### ***Veliki prsten***

U tablici 3 prikazani su rezultati tri mjerenja i srednja vrijednost tvrdoće vanjskog prstena

<b>Tablica 3. Tvrdoća vanjskog prstena</b>			
<b>Broj mjerenja</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>
Mikrotvrdoća	490HV0,2	589HV0,2	562HV0,2
Srednja vrijednost		547HV0,2	

Površinska tvrdoća velikog prstena ležaja je u prosjeku za skoro 50HV0,2 veća u odnosu na manji.

### 7.3. Analiza mikrostrukture

Analiza mikrostrukture je obavljena na svjetlosnom mikroskopu Olympus GX51 u Laboratoriju na materijalografiju Fakulteta strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.

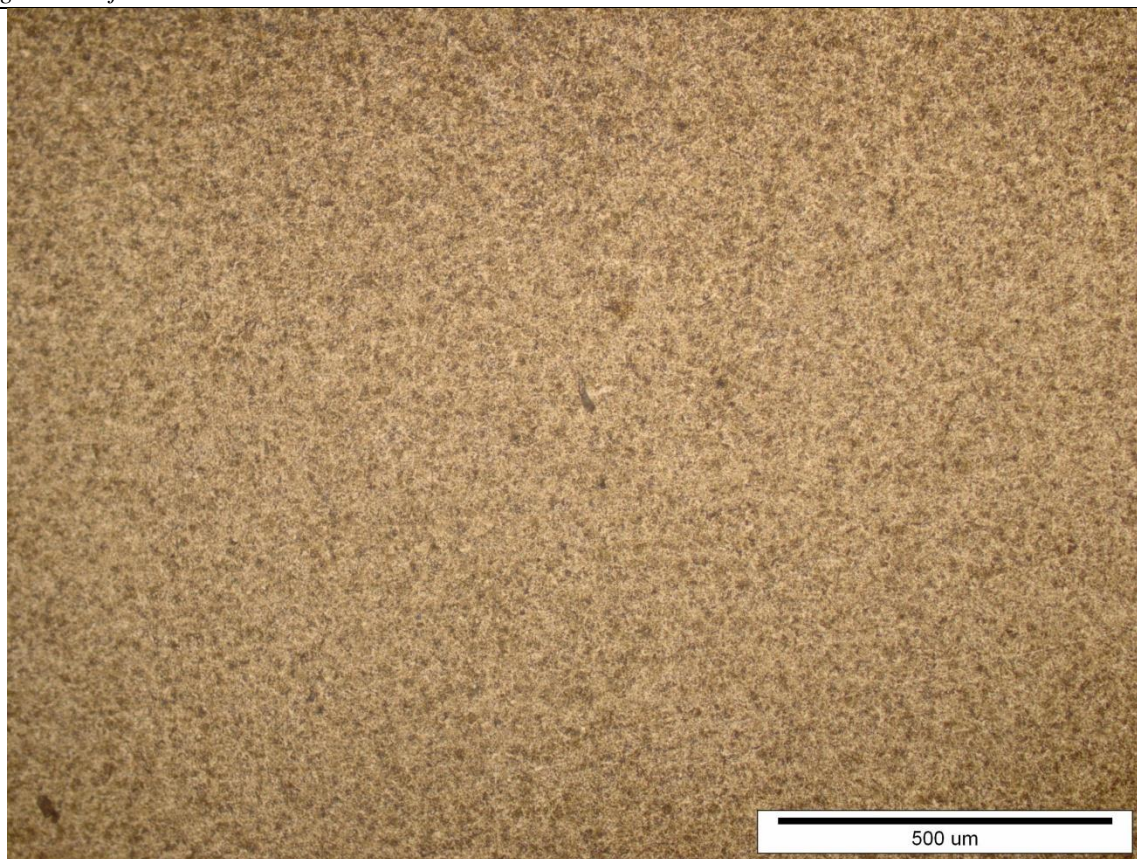
Uzorak smješten na svjetlosnom mikroskopu, slika 7.13.



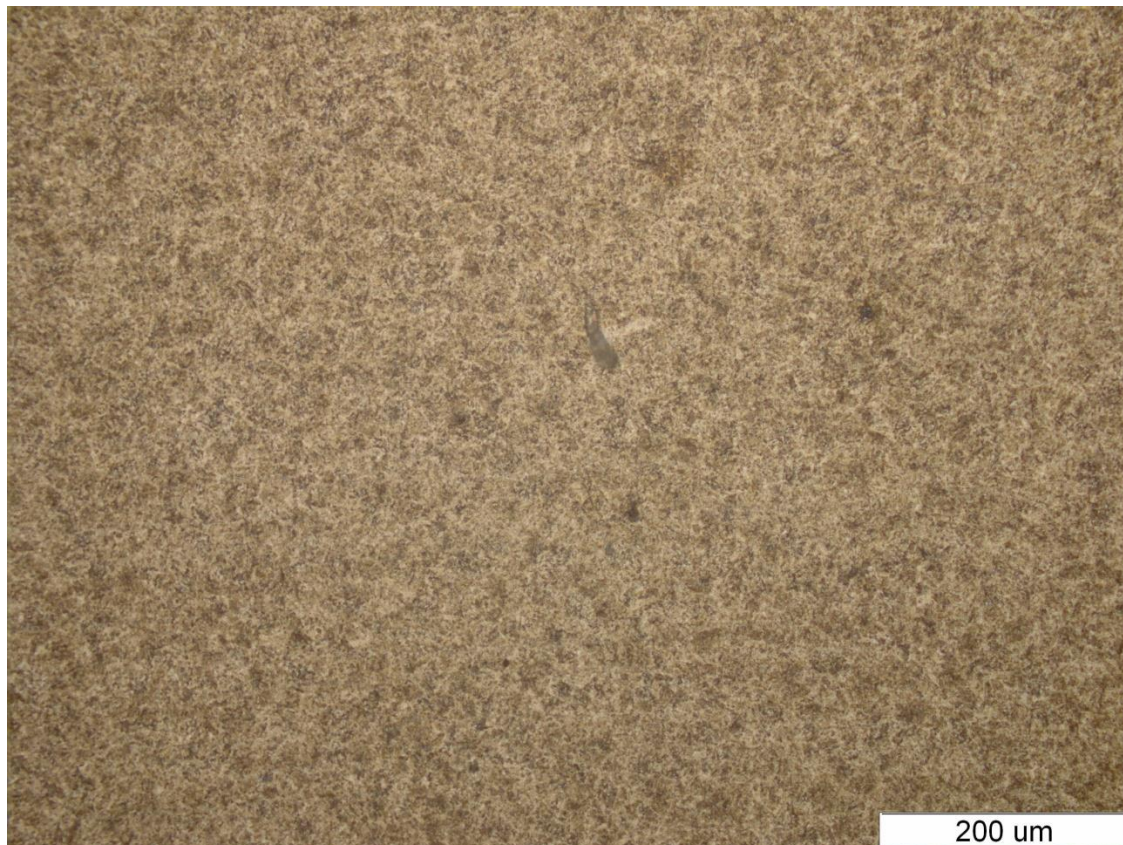
**Slika 7.13. Svjetlosni mikroskop GX51**

Prikazanu mikrostrukturu slikanu svjetlosnim mikroskopom možemo vidjeti na daljnjim slikama.



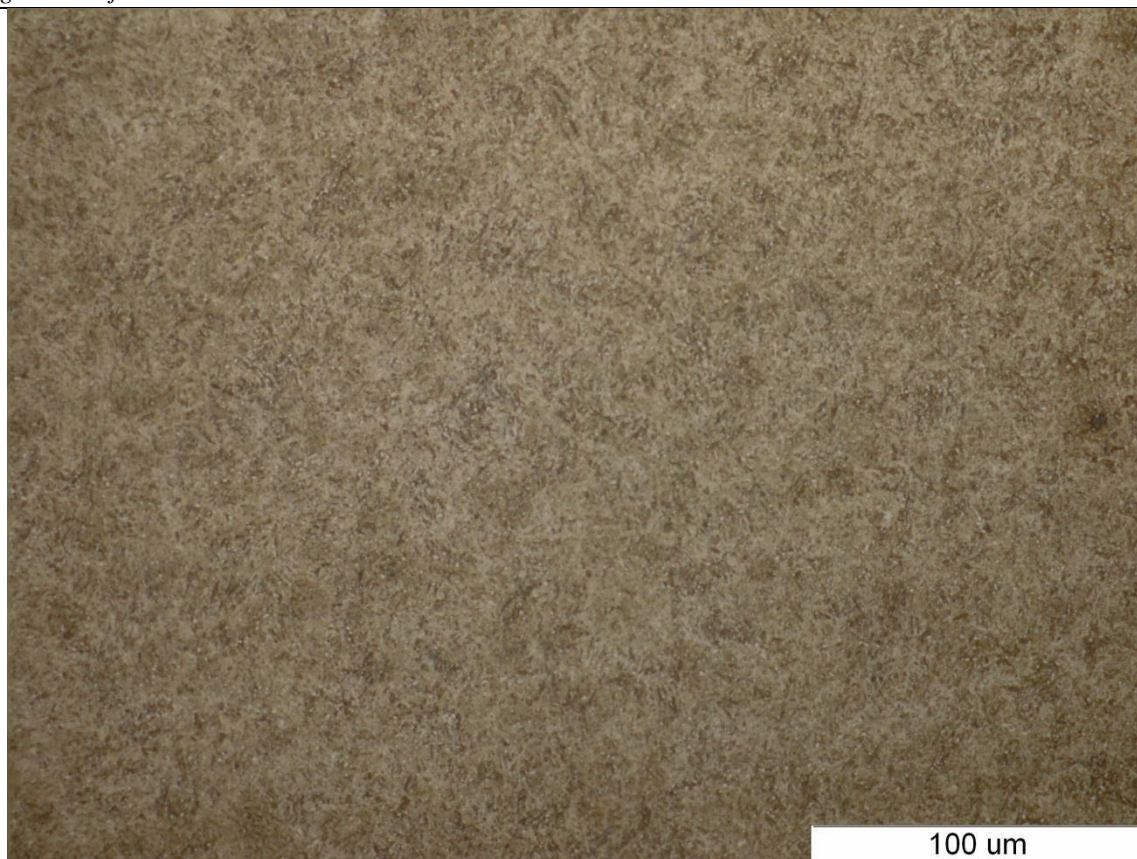


**Slika 7.14. Unutarnji prsten povećanje 100x**

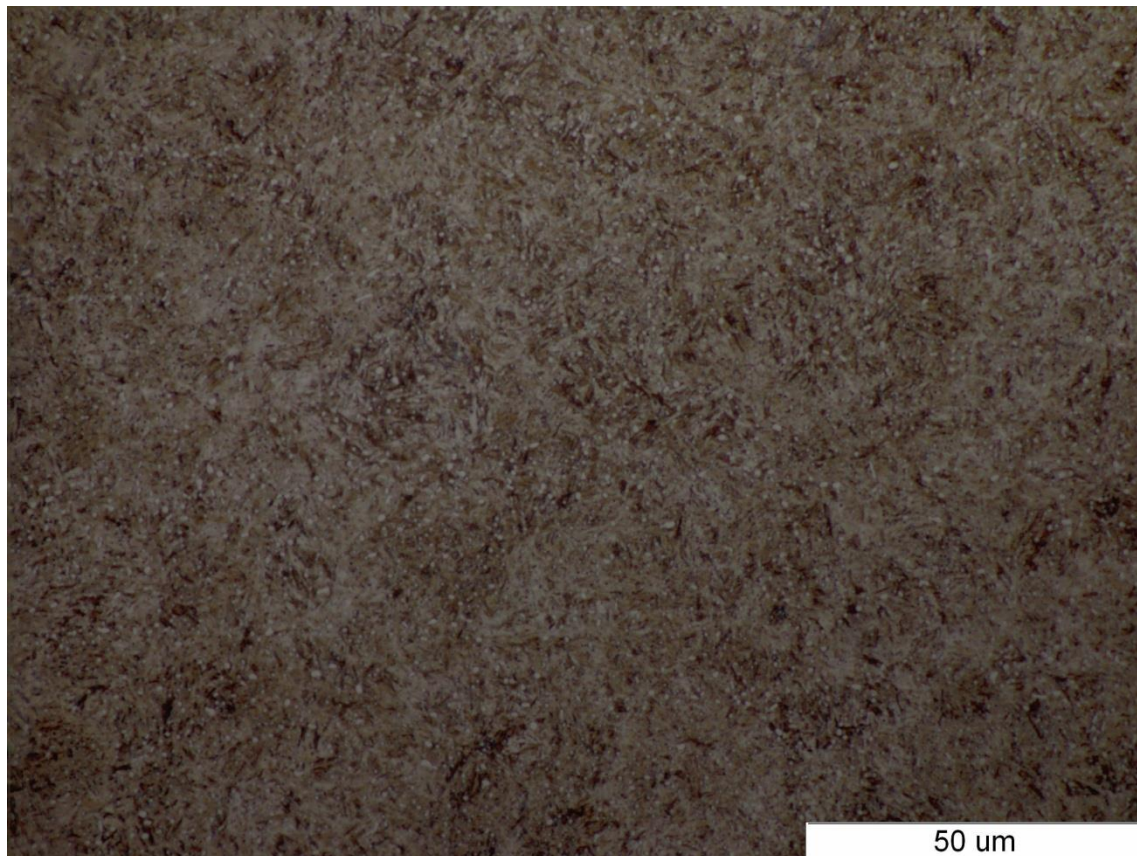


**Slika 7.15. Unutarnji prsten povećanje 200x**





**Slika 7.16. Unutarnji prsten povećanje 500x**

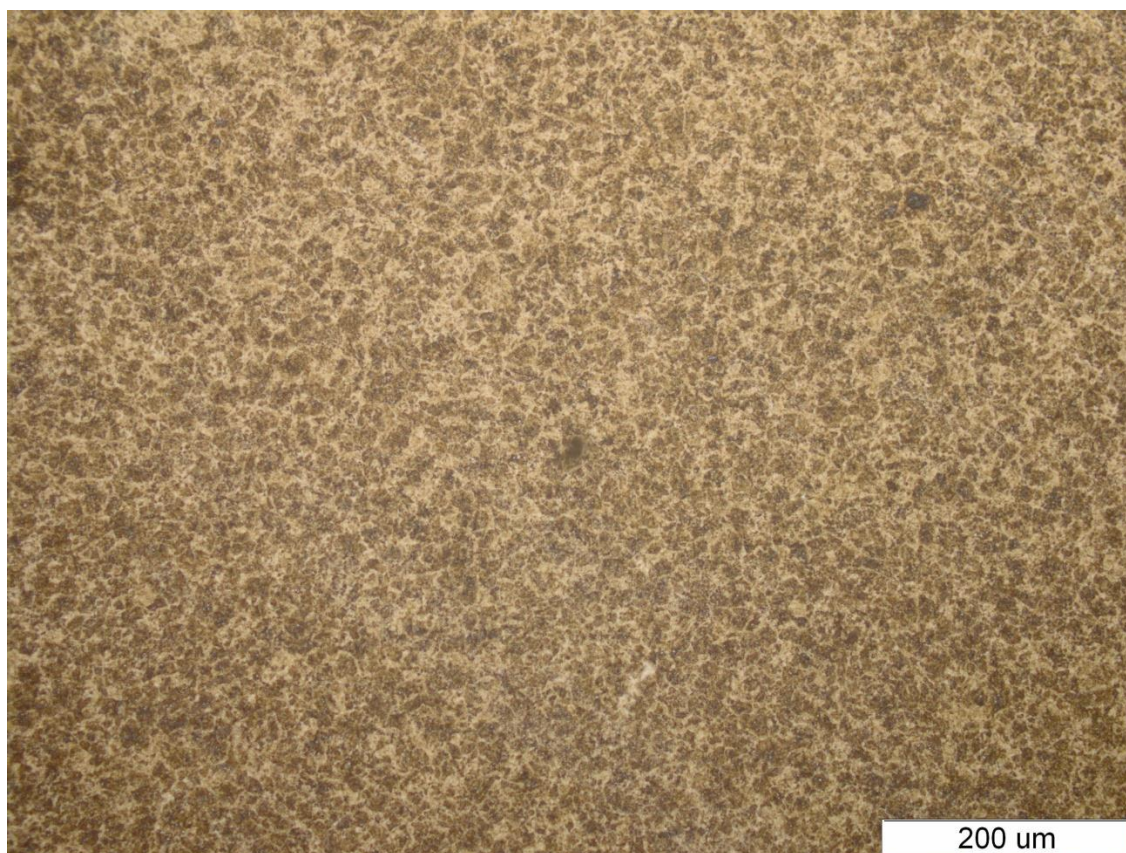


**Slika 7.17. Unutranji prsten povećanje 1000x**



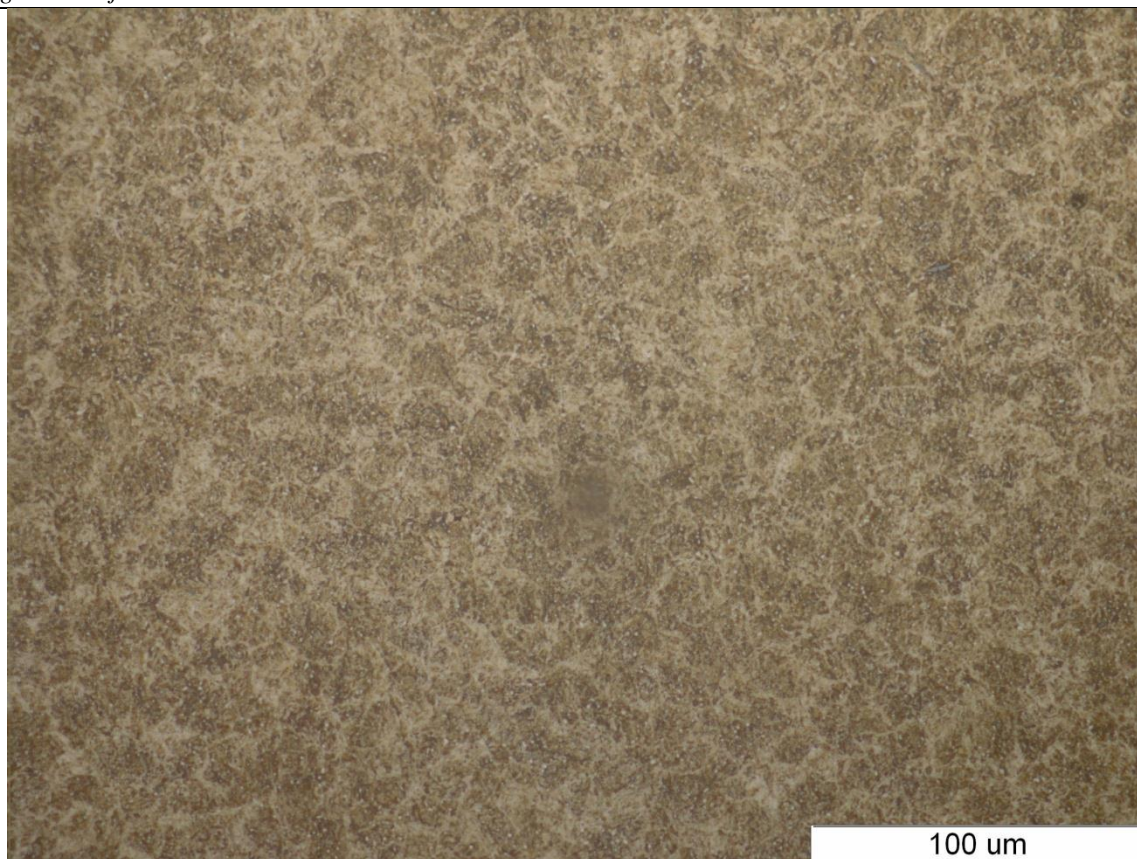


**Slika 7.18. Vanjski prsten povećanje 100x**

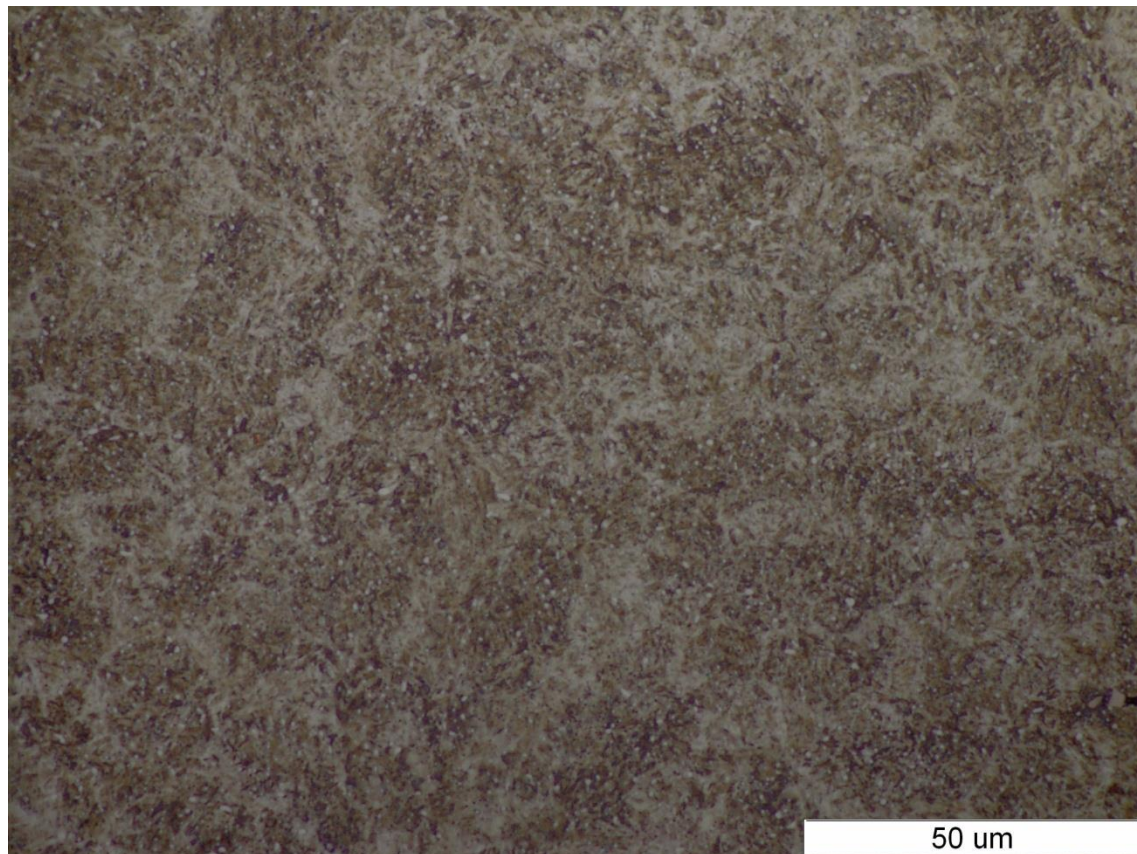


**Slika 7.19. Vanjski prsten povećanje 200x**





**Slika 7.20. Vanjski prsten povećanje 500x**



**Slika 7.21. Vanjski prsten povećanje 1000x**

Iz rezultata mjerenja tvrdoće i iz slika 7.14. do 7.21. možemo zaključiti da se struktura sastoji od popuštenog martenzita, a kod većih povećanja vidljive su sitne karbidne čestice.

Osim toga vidljivo je kako nema pojave nikakvih mikropukotina ni pora u samom materijalu bez obzira što je ležaj uništen, što nam govori kako je riječ u nekom kvalitetnijem materijalu.

Kako bi utvrdili o kojem je konačno materijalu riječ, uzorak moramo podvrgnuti analizi kemijskog sastava uz pomoću EDS (engl. Energy Dispersive Spectrometer) sustava instaliranog na SEM (Skenirajućem elektronskom mikroskopu).

#### **7.4. Analiza kemijskog sastava**

Uz pomoć uređaja SEM (Skenirajući elektronski mikroskop) i njegovog detektora EDS (engl. Energy Dispersive Spectrometer) ćemo utvrditi o kojoj je leguri riječ.

Princip rada ovog uređaja je da je površina uzorka bombardirana sa ionima, te se prema apsorpciji odnosno refleksiji tih iona od površine utvrđuje maseni i atomski udio određenog kemijskog elementa na površini.

#### **7.4.1. SEM (Skenirajući Elektronski Mikroskop)**

SEM mikroskopi pojavili su se 60-tih godina 20. stoljeća i spadaju u skupinu elektronskih mikroskopa. Osnove rada SEM-a sastoje se od skeniranja površine ispitivanog uzorka vrlo precizno fokusiranim snopom elektrona. Uzorak se nalazi na nosaču u komori mikroskopa, a izvor elektrona je katoda smještena u emisijskoj komori. Elektroni se ubrzavaju na putu između katode i anode koje se nalaze pod visokim naponom te se dalje fokusiraju i usmjeruju pomoću magnetskih leća na površinu uzorka.

Komora i kolona elektronskog mikroskopa za vrijeme rada nalaze se pod niskim ili visokim vakuumom. Prilikom udarca elektrona o površinu uzorka, događaju se razni efekti koje koristimo za dobivanje slike i provođenje analize u SEM-u.

SEM može koristiti tri osnovna tipa detektora:

- SE (engl. Secondary Electron) – detektor sekundarnih elektrona
- BSE (engl. Back Scatter Electron) – detektor povratnog raspršenja
- EDS (engl. Energy Dispersive Spectrometer) – energijsko disperzivni spektrometar

Prilikom sudara s atomskom jezgrom atoma koji grade uzorak, elektron iz elektronskog snopa mikroskopa se može odbiti natrag. Takve odbijene elektrone nazivamo elektroni povratnog raspršenja ili BSE (engl. Back Scatter Electron).

Njih detektiramo pomoću BSE (engl. Back Scatter Electron) detektora povratnog raspršenja. BSE pokazuje uzorak u nijansama sive boje koje odgovaraju atomskim težinama atoma koji izgrađuju uzorak. BSE detektor koristi se za proučavanje razlika u kemijskom sastavu uzoraka, a ujedno smanjuje efekte izazvane nakupljanjem elektrona na površini uzorka (nabijanje), pa se uz njegovu upotrebu mogu snimati i uzorci koji nisu električki vodljivi.

Drugi važan efekt koji se događa u trenutku sudara elektrona iz snopa i uzorka je izbijanje elektrona iz elektronskog omotača atoma iz uzorka. Te izbijene elektrone nazivamo sekundarni elektroni ili SE (engl. Secondary Electrons). SE detektor prikazuje površinu uzorka u velikoj rezoluciji, pa je posebno pogodan za proučavanje morfologije.

Kod izbijanja elektrona iz elektronskog omotača atoma ostaje prazno tzv. vakantno mjesto, koje se popuni elektronom iz druge elektronske ljuske više energije. Prilikom tog skoka elektrona emitira se jedan kvant energije ili X-zraka. [22]

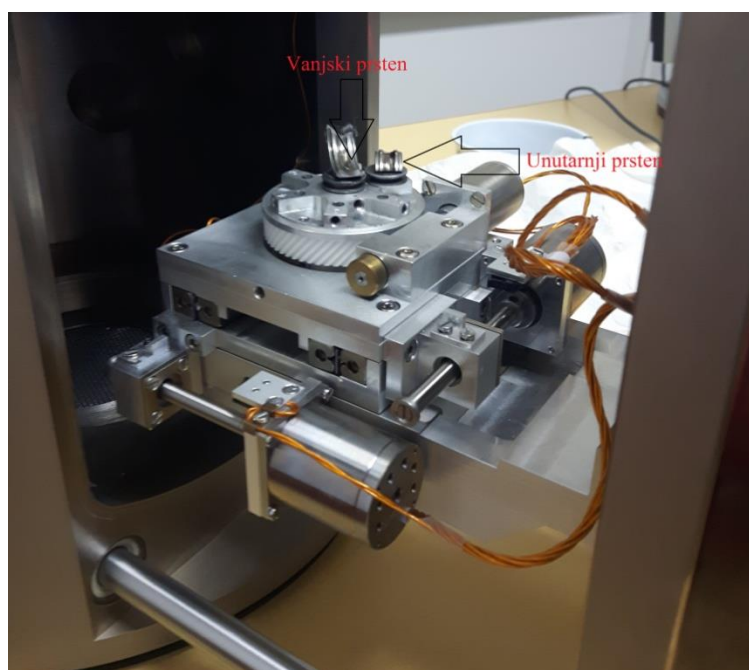


#### 7.4.2. Postupak analize kemijskog sastava

Analiza kemijskog sastava provedena je na SEM-u marke TESCAN VEGA 5136MW na Fakultetu strojarstva i brodogradnje u Zagrebu.



Slika 7.22. TESCAN VEGA 5136MW (SEM)

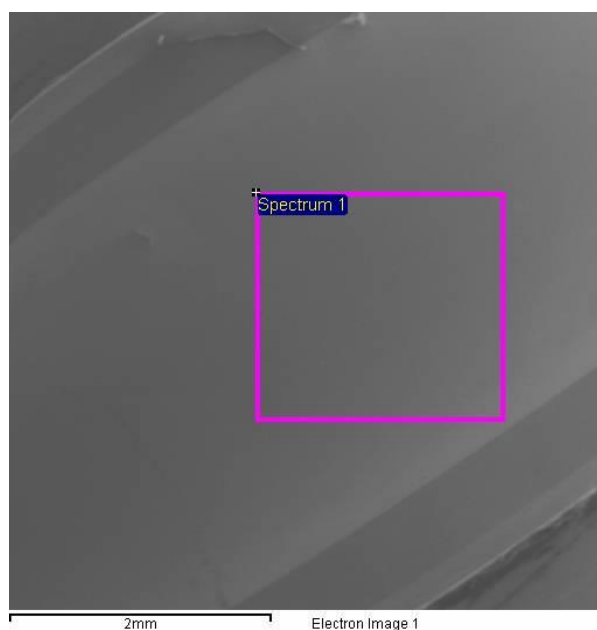


Slika 7.23. Uzorci na postoljima

**Unutrašnji prsten**

Rezultati ispitivanja su vidljivi na daljnjim slikama.

Odabrano područje unutrašnjeg prstena za postupak analize kemijskog sastava, slika 7.24.

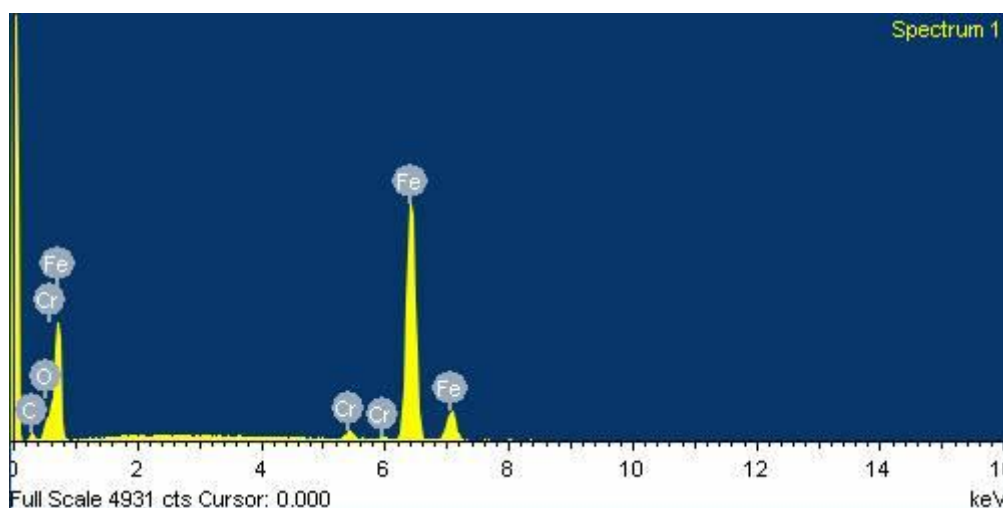


**Slika 7.24. EDS analiza unutrašnjeg prstena**

Rezultati masenih i atomskih udjela za unutrašnji prsten prikazani su u tablici 4.

**Tablica 4. Maseni i atomski udio elemenata na površini unutrašnjeg prstena**

Element	Maseni%	Atomski%
C K	6.64	22.78
O K	4.52	11.63
Cr K	1.53	1.21
Fe K	87.31	64.38
Ukupno	100.00	



**Slika 7.25. Spektar kemijskih elemenata, unutrašnji prsten**

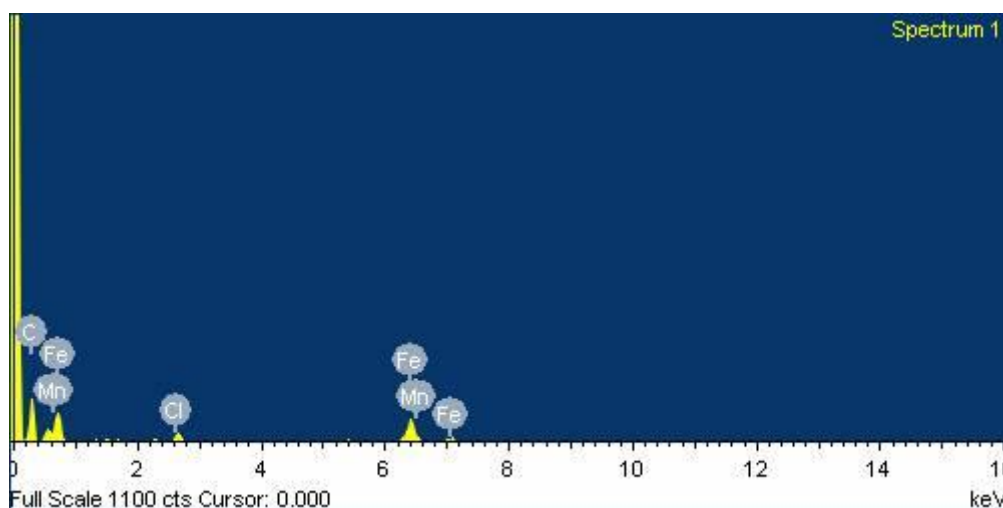
Na osnovi dobivenog kemijskog sastava analizirane površine unutrašnjeg prstena zaključujemo da se radi o niskolegiranom Cr-čeliku iz skupine niskolegiranih alatnih čelika za hladni rad, a koji se najčešće koriste za izradu prstenova kotrljajućih ležajeva. [23]

### ***Vanjski prsten***

Odabrano područje vanjskog prstena za postupak analize kemijskog sastava, slika 7.26.



**Slika 7.26. EDS analiza vanjskog prstena**



**Slika 7.27. Spektar kemijskih elemenata, vanjski prsten**

Rezultati masenih i atomskih udjela za unutrašnji prsten prikazani su u tablici 5.

**Tablica 5. Maseni i atomski udio elemenata na površini vanjskog prstena**

Element	Maseni%	Atomski%
C K	69.79	91.06
Si K	0.10	0.05
Cl K	2.69	1.19
Mn K	0.12	0.03
Fe K	27.30	7.66
Ukupno	100.00	

Navedeni elementi uglavnom potječu od nečistoća na površini budući da prije ispitivanja ležaj nije kvalitetno očišćen. Među elementima koji se nalaze u čeliku nisu vidljivi legirni elementi (osim mangana u maloj količini) pa je jedna od mogućnosti da se radi o nelegiranom (ili eventualno manganom legiranom) čeliku za poboljšavanje. [23]



## 8. ZAKLJUČAK

Trošenje je uvijek bilo i uvijek će biti prisutno u svim strojnim dijelovima. Ovisi samo kolika će biti mogućnost razvoja novih materijala, čiji će utjecaj direktno smanjivati samo trenje.

Redovito je potrebno vršiti dugotrajna ispitivanja i analize dijelova koji se koriste za ugradnju, jer se radi o jako velikim serijama, do nekoliko stotina tisuća, te svaka pogreška na kraju skupo košta.

Zaključak je da su kod perilice rublja prisutni svi mehanizmi trošenja, ovisno o njenim dijelovima, a kod nekih čak i više njih djeluje istovremeno. Daljnjim razvojem proizvoda pokušati će se smanjiti broj potrošnih dijelova i produžiti ukupan vijek trajanja proizvoda. Vidimo kako se u vrlo kratkom periodu od izuma uređaja, u svega par desetaka godina uvelike smanjila ukupna masa uređaja, a višestruko povećala energetska učinkovitost, te itekako još ima prostora za razvoj i napredak te implementaciju novih tehnologija.

Najčešći kvar i problem sa suvremenim perilicama rublja se javlja zbog kvara ležaja bubnja. Utvrdili smo na potrošenom ležaju uzrok otkazivanja strojnog dijela. Postupkom karakterizacije materijala zaključili smo kako je tvrdoća materijala visoka sa prosječnim iznosom iznad 500HV0,2, što zadovoljava primjenu.

Iz rezultata kemijske analize sastava pretpostavljamo da se kod unutrašnjeg prstena radi o niskolegiranom Cr-čeliku. Navedeni čelik je otporan na visoke specifične pritiske (do 5000Mpa), te zbog svoje visoke površinske tvrdoće ima odličnu otpornost na trošenje. Za vanjski prsten pretpostavljamo da se radi o nekom nelegiranom (ili eventualno manganom legiranom) čeliku za poboljšavanje.

## LITERATURA

- [1] <https://howard-sures.squarespace.com/evolution-of-washing-technology-1/>
- [2] R. Zgaga, "Tribologija, nova znanstvena disciplina u znanosti i tehnici", Strojarsstvo XVII (5) 1975, 193-195
- [3] "Hrvatska enciklopedija", Leksikografski zavod Miroslav Krleža, [www.enciklopedija.hr](http://www.enciklopedija.hr), 2016.
- [4] H. Czichos, "Tribology – a system approach to the science and technology of friction, lubrication and wear", Elsevier, Amsterdam – Oxford – New York 1978
- [5] K. Grilec, S. Jakovljević: "Tribologija", autorizirana predavanja, Zagreb 2015
- [6] J. Verčon: Trenje suhih površina, Maziva i podmazivanje, JUGOMA, Zagreb, 1986
- [7] [http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/vrst\\_tros\\_hr.html](http://www.vorax.hr/dokumenti/hr/vrst_tros_hr.html)
- [8] <http://www.currys.co.uk/gbuk/household-appliances/laundry/washing-machines/hotpoint-smart-wmfug942guk-washing-machine-graphite-22091136-pdt.html>
- [9] <http://www.best-washing-machine.co.uk/top-loading-washing-machines/>
- [10] [https://www.ideo.si/pralni\\_stroji/pralni\\_stroj\\_FSCR90425\\_CorePlus\\_WHIRLPOOL](https://www.ideo.si/pralni_stroji/pralni_stroj_FSCR90425_CorePlus_WHIRLPOOL)
- [11] Whirlpool Service Task Manual FSCR90425
- [12] <http://www.encyclopedia.com/science-and-technology/technology/technology-terms-and-concepts/washing-machine>
- [13] <http://home.howstuffworks.com/appliances/energy-efficient/replace-or-repair-washing-machine2.htm>
- [14] [http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/S\\_Elementi/Brtve.pdf](http://www.unizd.hr/portals/1/nastmat/S_Elementi/Brtve.pdf)
- [15] <http://parts.indesit.co.uk/shop/spare-parts/washing-machines/c/C8-RIC-LVTRC>
- [16] [https://i1.wp.com/www.wipeoutsmokeodor.com/wp-content/uploads/2015/12/IMG\\_3908.jpg?w=1024](https://i1.wp.com/www.wipeoutsmokeodor.com/wp-content/uploads/2015/12/IMG_3908.jpg?w=1024)
- [17] [https://hr.wikipedia.org/wiki/Električni\\_strojevi](https://hr.wikipedia.org/wiki/Električni_strojevi)
- [18] <http://www.espaes.co.uk/product/es502481/washing-machine-front-drum-bearing>
- [19] <http://www.ukwhitegoods.co.uk/help/176-stains-a-marks/washing-machine-stains/2974- washing-machine-washing-machine-sealed-tubs-a-why-you-should-care>
- [20] <http://www.botebearings.com/washing-machine-bearing-35.html>

- [21] V. Ivušić, M. Franz, Đ. Španiček, L. Čurković: Materijali 1, FSB, Zagreb, 2011
- [22] G. Mršić, S. Žugaj; Analiza GSR čestica upotrebom elektronskog mikroskopa (SEM/EDX); stručni članak; Zagreb; 2007.
- [23] T. Filetin, F. Kovačiček, J. Indof: Svojstva i primjena materijala, FSB, Zagreb, 2002.

## **PRILOZI**

### **I. CD-R disc**